Série E,
N° d'ordre : 35

THÈSES

PRÉSENTÉES

A LA FACULTÉ DES SCIENCES
DE L'UNIVERSITÉ DE STRASBOURG

POUR OBTENIR

LE GRADE DE DOCTEUR ÈS SCIENCES PHYSIQUES

PAR

Mme A. HÉE
Assistante à l'Institut de Physique du Globe

1re THÈSE. — Étude des battements électriques. Application a la séismologie et a l'étude des constantes diélectriques.

2e THÈSE. — La fréquence des tremblements de terre en Algérie.

Soutenues le juin 1933 devant la Commission d'examen

MM. E. ROTHE . . . . . *Président*
G. DUBOIS. . . . . } *Examinateurs.*
G. REMPP . . . . . }
J. LACOSTE. . . . . }

NOGENT-LE-ROTROU
IMPRIMERIE DAUPELEY-GOUVERNEUR
1933

Série E,
N° d'ordre : 35

THÈSES

PRÉSENTÉES

A LA FACULTÉ DES SCIENCES
DE L'UNIVERSITÉ DE STRASBOURG

POUR OBTENIR

LE GRADE DE DOCTEUR ÈS SCIENCES PHYSIQUES

PAR

M^me^ A. HÉE
Assistante à l'Institut de Physique du Globe

1^re^ THÈSE. — Étude des battements électriques. Application a la séismologie et a l'étude des constantes diélectriques.

2^e^ THÈSE. — La fréquence des tremblements de terre en Algérie.

Soutenues le juin 1933 devant la Commission d'examen

MM. E. ROTHÉ . . . . . *Président*
G. DUBOIS. . . . . } *Examinateurs.*
G. REMPP . . . . . }
J. LACOSTE. . . . . }

NOGENT-LE-ROTROU
IMPRIMERIE DAUPELEY-GOUVERNEUR
1933

FACULTÉ DES SCIENCES DE L'UNIVERSITÉ DE STRASBOURG

Doyen..... M. E. ROTHÉ, Professeur de Physique du Globe.

Doyens honoraires. MM. E. BATAILLON, P. TH. MULLER.

Professeurs honoraires..... MM. E. ESCLANGON, M. FRÉCHET, G. FRIEDEL, M. GIGNOUX, H. VILLAT.

Professeurs.....

MM.	
G. VALIRON.....	Analyse supérieure.
P. WEISS.....	Physique générale.
H. OLLIVIER.....	Physique générale.
H. GAULT.....	Chimie organique.
C. HOUARD.....	Botanique.
E. TERROINE.....	Physiologie générale.
J. DE LAPPARENT..	Minéralogie et Pétrographie.
R. THIRY.....	Mécanique rationnelle.
G. CERF.....	Calcul différentiel et intégral.
G. DUBOIS.....	Géologie et Paléontologie.
G. RIBAUD.....	Physique expérimentale.
P. FLAMANT.....	Mathématiques générales.
E. CORNEC.....	Chimie générale.
A. DANJON.....	Astronomie.
P. DE BEAUCHAMP.	Biologie générale.
N.....	Chimie minérale.
N.....	Zoologie et anatomie comparée.
L. BOUNOURE.....	Zoologie.
G. FOEX.....	Physique générale.
H. CHERMEZON...	Botanique.
G. REMPP.....	Physique du Globe.
R. ROMANN.....	Chimie physique et électrochimie.
J. LACOSTE.....	Physique du Globe.
H. MILLOUX.....	Mathématiques.

Maîtres de conférences.....

CH. STAEHLING...	Chimie appliquée.
G. HUGEL.....	Chimie du Pétrole.
H. WEISS.....	Physico-chimie du Pétrole.
P. SOLEILLET.....	Physique mathématique.
R. BONNET.....	Physique et Chimie biologiques.
J. JUNG.....	Géologie du Pétrole.
A. ROUSSEL.....	Mathématiques générales.
A. CHRÉTIEN.....	Chimie appliquée.
J. MARESQUELLE.	Botanique.
H. CARTAN.....	Mathématiques.
N.....	Minéralogie.

Secrétaire..... G. CUVIER.

R. UNIV.
BIBLIOTHEEK
LEIDEN

A MES PARENTS

A MON MARI

A MON MAITRE M. E. ROTHÉ

Doyen de la Faculté des Sciences de Strasbourg
Directeur de l'Institut de Physique du Globe
Secrétaire de l'Association Internationale de Séismologie

Hommage de profonde et respectueuse reconnaissance.

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41552728_0037

Ces travaux ont été exécutés à l'Institut de physique du Globe de Strasbourg.

Je suis heureuse de remercier mon maître, M. le doyen Rothé, et de lui exprimer ma profonde gratitude. Il m'a dirigée dans mes recherches, m'a prodigué ses conseils et ses encouragements et facilité la tâche en mettant très largement à ma disposition les ressources du laboratoire. Qu'il veuille bien également trouver ici l'expression de ma reconnaissance pour toutes les marques de sympathie que lui et les siens m'ont témoignées.

J'adresse mes remerciements à MM. les professeurs Dubois, Lacoste et Rempp, qui ont bien voulu accepter de faire partie de mon jury. Je remercie aussi très vivement mes collègues de l'Institut, plus particulièrement M^lle^ Guttenstein, secrétaire au Bureau international de séismologie, et M. le colonel Holtzapffel, chargé du cours de topographie et de dessin à l'Institut, qui m'ont prêté leur aide amicale pour la publication et l'illustration de mon travail.

ÉTUDE DES BATTEMENTS ÉLECTRIQUES

APPLICATION A LA SÉISMOLOGIE ET A L'ÉTUDE DES CONSTANTES DIÉLECTRIQUES

INTRODUCTION

Précision de la mesure du temps dans les travaux actuels de séismologie

Les progrès de la séismologie sont liés dans nombre de questions à la connaissance de plus en plus précise de l'heure d'arrivée des ondes issues du foyer d'ébranlement, en particulier les recherches séismologiques tendent de plus en plus à analyser dans le détail la structure hétérogène du globe. Pour progresser dans ce genre d'études, il est naturel de tenter de pénétrer plus avant dans la connaissance des couches superficielles situées au delà du domaine ordinairement accessible aux géologues. Seuls les séismes naturels, notamment les tremblements de terre rapprochés, et les séismes artificiels ou explosions, peuvent conduire à des résultats instructifs, à la condition essentielle de connaître le temps avec une exactitude suffisante ; *il devient nécessaire d'apprécier les fractions de seconde.*

Les travaux de séismologie de A. Mohorovicic [1], exposés dans le *Bulletin de l'Union géodésique et géophysique internationale* par M. Rothé [2], sont basés sur des résultats d'observations où la connaissance de l'heure était aussi bonne que possible pour l'époque. Les tables qui ont été publiées par A. Mohorovicic [3] indiquent le temps avec la précision du 1/10e de seconde. Celles de S. Mohorovicic [4], relatives à la détermination de la profondeur des foyers, comportent une précision identique.

D'autre part les séismes rapprochés sont si fréquents au Japon que leur étude devait naturellement tenter les chercheurs. La connaissance exacte des temps de propagation est nécessaire pour que des travaux sur ce sujet puissent donner des résultats intéressants ; aussi les observatoires japonais s'efforcent-ils dans leurs annuaires, depuis 1922, de préciser au 1/10e de seconde les phases de chaque tremblement de terre. M. Wadati [5] s'est servi de ces données pour établir une nouvelle méthode qui permet de déterminer la profondeur des foyers, méthode basée sur la répartition des isoséistes et surtout sur l'étude d'une onde fictive S-P.

En outre, l'hétérogénéité de l'écorce terrestre apparaît dans les recherches de D. Wrinch et H. Jeffreys [6], qui ont été amenés à représenter hypothétiquement la zone externe du globe comme résultant de la superposition de roches sédimentaires à une couche de roches acides reposant elles-mêmes sur des roches basiques : des observations relatives à une telle conception impliqueraient aussi une très bonne connaissance du temps.

La précision dans la détermination du temps, si importante pour toutes les recherches de séismologie pure, est encore plus indispensable quand il est question d'appliquer la méthode séismique à l'étude des couches géologiques du sous-sol. Il s'agit, en effet, de différencier chacune d'elles et souvent d'en déterminer la profondeur. Les vitesses sont les seules données fournies par l'expérience qui permettront de déduire les autres inconnues. Pour déterminer ces vitesses avec une approximation suffisante, la connaissance du temps est encore la condition exigible. Le problème est d'autant plus délicat que, d'une part pour éviter les dépenses exagérées, et d'autre part pour ne pas causer de dommages, on limite la quantité d'explosif ; la zone ébranlée devient dès lors très restreinte et les erreurs sur les durées de propagation prennent une importance considérable. Il est à remarquer toutefois que dans l'étude des explosions l'heure absolue n'est pas utile, ce qui facilite la résolution de la ques-

tion ; le temps qui s'écoule entre la déflagration et la réception des ondes seul a besoin d'être connu avec précision.

Parmi les explosions les plus intéressantes, je citerai celles organisées à la Courtine par M. Maurain. Elles ont donné lieu à diverses communications des Instituts de physique du Globe de Paris [7] et de Strasbourg [8]. Les interprétations ont exigé la connaissance du 1/10e de seconde. Par ailleurs, MM. Maurain et Eblé [9] ont cherché à vérifier expérimentalement pour le calcaire de la région de Gargenville (Seine-et-Oise) les vitesses calculées d'après ses propriétés élastiques, en portant leurs efforts sur une bonne détermination de l'heure.

Dans de telles expériences, le point de départ du phénomène étant le plus souvent indiqué par la rupture d'un fil dans un circuit électrique, il suffit d'installer un système d'inscription de secondes et de fractions de seconde pour déterminer le temps écoulé entre l'explosion et l'inscription du premier impetus.

En prospection on est arrivé à apprécier des temps très courts en utilisant des diapasons qui vibrent avec une période de 1/50e à 1/100e de seconde. Ils portent une fente qui laisse passer un rayon lumineux à intervalles réguliers. O. Meisser et H. Martin [10] ont utilisé une bobine de Ruhmkorff dont le primaire est interrompu par un diapason et le secondaire est branché sur un tube de Geissler. Dans la méthode d'Ambronn [11], basée sur l'emploi de séismoscopes à contact de charbon, le compteur de temps est le plus souvent un vibreur électrique dont la lame a une période propre bien déterminée, 0 s. 03, étalonnée à l'aide d'un régulateur Hatot. Une palette munie d'une ouverture est fixée sur la lame ; elle se déplace devant une petite lampe à incandescence.

Ce sont là, en somme, des procédés mécaniques.

Je me suis adressée à une méthode toute différente, permettant de *faire varier à volonté la précision requise*, celle des « *battements électriques* ».

CHAPITRE I

Battements électriques

1. *Principe de la méthode. Réalisation d'un dispositif sensible aux mouvements et capable d'inscrire le temps avec précision.*

Soient deux circuits (I, II) d'ondes entretenues, oscillant avec des périodes voisines, T_1 et T_2, et qui agissent sur un troisième circuit récepteur (III) ; il en résulte le phénomène des battements, de période Θ, telle que :

$$\Theta = T_1 p = T_2 (p \pm 1).$$

p est dans le premier circuit le nombre d'oscillations qui se produisent pendant le temps Θ, d'où :

$$\frac{1}{\Theta} = \pm \frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_1}$$

Si l'on considère les fréquences, on écrira :

$$n = \pm N_2 - N_1.$$

En supposant N_2 fixe et N_1 variable, si la formule de Thomson $N_1 = \frac{1}{2\pi\sqrt{C_1 L_1}}$ est applicable, et si, d'autre part, C_1 est le seul élément variable, on a : $dn = \pm \frac{1}{2} N_1 \frac{dC_1}{C_1}$.

On peut se rendre compte numériquement de la variation de n avec C, par exemple : $\lambda = 260$ m. $\quad C = 0{,}00078$ µF.

La variation de capacité qui donne naissance à une variation de 10 battements par seconde est exprimée par :

$$10 = \pm \frac{1}{2} \frac{3.10^8}{260} \frac{dC}{0{,}00078.9.10^5}$$

d'où :

$$dC = \pm \frac{10.2.260.0{,}00078.9.10^5}{3.10^8} = 0{,}012 \text{ u e s}$$

pour $\lambda = 300$ m. $\quad C = 0{,}0011$

$$dC = \pm \frac{10.2\ 300.0{,}0011.9.10^5}{3.10^8} = 0{,}019 \text{ u e s.}$$

Ces chiffres montrent l'extrême sensibilité pour une variation très petite de capacité et la possibilité de mettre celle-ci en évidence. Il suffit, d'autre part, d'inscrire les battements pour connaître à une fraction de seconde près le moment où s'est produite la variation de capacité.

La nouveauté de la méthode consiste à monter le condensateur d'un des circuits, par exemple, sur la masse inerte d'un séismographe. De cette manière, à l'instant où l'appareil reçoit l'impetus, la fréquence des interférences électriques est modifiée et l'on connaît cet instant avec toute la précision que comporte le nombre des battements.

2. *Expériences antérieures.*

L'idée d'employer ainsi un condensateur variable dans un circuit oscillant est due à M. E. Rothé, qui l'appliqua pendant la guerre (1916) dans l'appareil connu sous le nom de « condensateur microphone ». Le problème qui se posait alors était de recueillir soit des ondes aériennes, soit des sons dans l'eau. Le dispositif est représenté dans la figure ci-contre (fig. 1). On constitue, à l'aide d'un condensateur variable spécial P et d'une self A, un circuit primaire parcouru par des oscillations électriques entretenues fournies par un dispositif à lampes genre « hétérodyne ». On trouvera dans le livre de M. Rothé sur les applications de la télégraphie sans fil [12] les indications nécessaires pour la production de ces ondes. Un circuit secondaire comprend une self B, accouplée avec A, et un condensateur réglable C servant à mettre le circuit secondaire en résonance avec le primaire.

Ce microphone est de tous les types connus celui qui présente le seuil le plus reculé. Il a à peu près la même sensibilité que l'oreille.

Bien que destiné à écouter les sons faibles, *l'appareil fonc-*

tionnait aussi comme séismomicrophone : il suffisait de produire de très légers chocs pour les entendre très amplifiés.

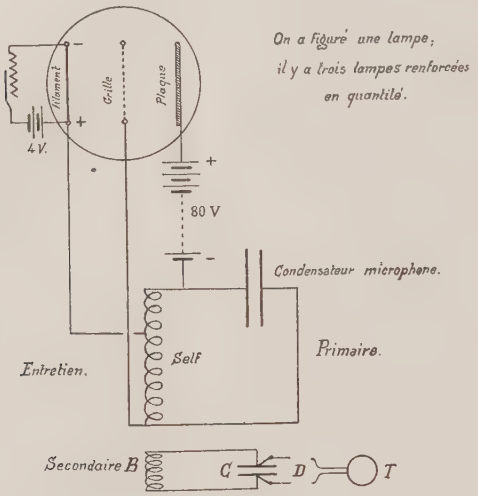


Fig. 1. — Schéma du condensateur-microphone.

L'inscription pouvait d'ailleurs être réalisée par des téléphones munis de saphirs sur des enregistreurs à cire tels que des dictaphones : l'appareil devenait un séismographe.

3. *Dispositif utilisé.*

Pour obtenir le dispositif avec lequel j'ai travaillé, il suffisait d'ajouter au montage du « condensateur microphone » un deuxième circuit primaire symétrique du premier par rapport au secondaire. Chacun des deux circuits oscillants comprend : 1° une self à gros fil formant vingt-quatre spires carrées de 10 cm. de côté, non jointives, de façon à diminuer la capacité de cette partie du circuit ; 2° un condensateur à air, variable, de capacité totale de l'ordre de 0,0026 μF, aux bornes duquel se trouve en dérivation un second condensateur variable de faible capacité. Ce fut d'abord un condensa-

teur cylindrique qui servit à obtenir de très petites variations de capacité pour parfaire le réglage.

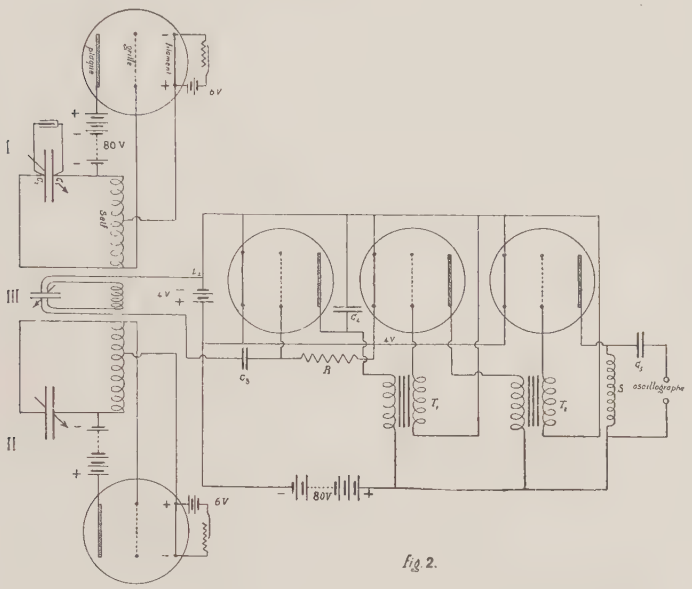


Fig. 2. — Schéma du dispositif générateur de battements.

Les longueurs d'ondes obtenues varient de 115 m. à 300 m. environ. La production des ondes entretenues se fait au moyen d'une ou trois lampes triodes ; on utilise, comme dans le condensateur microphone, un montage en dérivation. Un milliampèremètre placé dans le circuit grille renseigne sur l'amorçage des lampes et l'intensité du courant.

Pour la tension plaque j'ai employé successivement des redresseurs spécialement construits et des accumulateurs. Au cours des recherches les valeurs respectives de la self et de la capacité du circuit récepteur furent modifiées. Finalement j'ai pris une self montée sur une carcasse carrée de bois de 10 cm. de côté, identique à celle des selfs des circuits précédemment décrits. Elle est formée de trois couches de 10 spires de fil et est reliée aux bornes d'un condensateur à

air de faible capacité de l'ordre de 0,0001 μF (dit compensateur Mesny). Ces bornes sont elles-mêmes reliées à la détection et à l'amplification par deux fils conducteurs fixes, assez longs pour que ces circuits n'agissent pas sur l'appareil générateur de battements.

Je désignerai toujours au cours du travail les circuits émetteurs par les chiffres I et II, le circuit récepteur par le chiffre III. Ce dernier circuit est le siège d'oscillations induites par I et par II. L'ensemble constitue une sorte de double « hétérodyne » (voir schéma, fig. 2, et photographie, fig. 3).

4. *Inscription des battements.*

Si l'on avait voulu s'astreindre à inscrire sur cire, comme il a été indiqué précédemment, ou à munir la membrane téléphonique du récepteur d'un miroir pour projection optique, l'inscription des battements eût été résolue d'une manière simple en principe, comme le faisait E. C. Fritts [13]. Cette dernière méthode, qui permet d'obtenir des amplifications optiques importantes et variables à volonté, présente l'inconvénient d'être onéreuse, d'un établissement difficile en chambre noire ou dans des boîtes appropriées. Désirant un appareil commode fonctionnant en plein jour et au besoin en campagne, j'ai renoncé à ce mode bien connu d'enregistrement et je me suis efforcée de réaliser un dispositif d'inscription mécanique sur noir de fumée, comme dans la plupart des séismographes.

Il fallait faire appel à un instrument inscrivant des courants faibles et qui présentaient des variations rapides d'intensité, de l'ordre de plusieurs centaines par seconde. L'énergie devait être assez grande pour permettre l'inscription sur du papier enfumé malgré les frottements. L'oscillographe Abraham m'a paru répondre à ces conditions. J'ai employé un des premiers modèles construits, acquis par l'Institut peu de temps après la guerre pour l'inscription des signaux horaires. Ce modèle primitif donne environ 1 mm. 5 de dévia-

Fig. 3. — Ensemble du montage.

tion pour une intensité de 1 milliampère 6. Des types plus sensibles ont été construits depuis lors et il est vraisemblable qu'on arrive couramment aujourd'hui à inscrire des vibrations de l'ordre du 1/1 000e de seconde, mais comme je n'ai pas cherché à dépasser mécaniquement la fréquence de 350 battements, l'appareil dont je dispose était approprié au travail entrepris.

La plus grande difficulté résidait, pour l'inscription directe des battements, dans l'obtention d'une amplitude suffisante des vibrations. J'avais d'abord utilisé trois lampes triodes, dont les plaques étaient portées à 300 volts. Plus tard j'ai pu supprimer deux lampes et réduire le voltage à 80 volts. La tension plaque pouvait être fournie, comme il a été dit, soit par des accumulateurs, soit par des redresseurs que l'on commençait, au moment où j'ai entrepris mon étude, à construire en T. S. F. et qui ont été mis peu à peu dans le commerce. J'ai eu à ma disposition des appareils de différents types et ai pu ainsi, par des comparaisons, en inscrivant les courants fournis, me convaincre de la qualité de ceux-ci et de l'efficacité du redressement.

Avec un couplage relativement serré des deux circuits émetteurs et du circuit récepteur il suffisait, pour obtenir une bonne inscription, d'utiliser l'amplificateur L_1, ancien modèle à six lampes de la télégraphie militaire qui était au laboratoire, à condition de choisir de bonnes lampes de construction moderne, notamment pour les étages de basse fréquence.

Plus tard, pour des raisons sur lesquelles je reviendrai, j'ai réalisé un couplage lâche entre les circuits et j'ai dû renforcer l'amplification du L_1 par un deuxième appareil. Le problème de l'amplification est une question générale de T. S. F. qui sortirait du cadre de ce travail. Il est clair que l'équipement actuel des sans-filistes a beaucoup progressé depuis la guerre. Ainsi j'ai pu remplacer l'ensemble par un montage plus simple et de rendement équivalent comprenant uniquement une lampe détectrice et deux étages de basse fréquence.

C'est un amplificateur à transformateurs. L'oscillographe est monté en série avec une capacité, l'ensemble est placé aux bornes d'une self de choc intercalée dans le circuit filament-plaque (voir fig. 2). De cette façon le courant moyen fila-

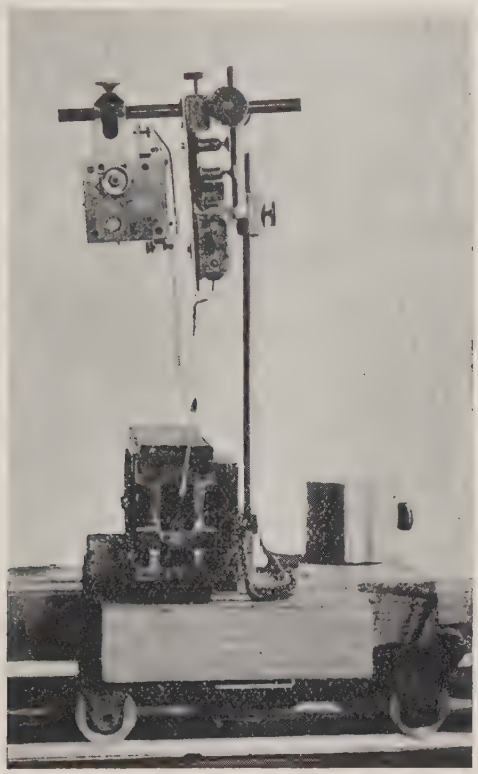


Fig. 4. — Oscillographe sur le chariot mobile.

ment-plaque passe dans la self de choc et les courants variables dans le circuit comprenant la capacité et l'oscillographe. J'ajoute que le choix des amplificateurs et des moyens de détection n'a qu'un rôle secondaire dans la réalisation des battements, mais il intervient dans la valeur de l'amplitude.

Les premières inscriptions ont été faites à l'aide du système de dérouleur Boulitte à bande de papier utilisé pendant la guerre pour le repérage par le son et que les laboratoires avaient adopté pour l'inscription des signaux horaires ; mais la vitesse de déroulement, assez irrégulière d'ailleurs, n'était que de 7 cm. par seconde. De plus, l'enfumage était d'un réglage délicat et devait être constamment surveillé à cause des dangers d'incendie. La bande, lorsque les essais étaient un peu longs, ne pouvait être fixée aisément au fur et à mesure de sa formation ; elle était sujette à s'abîmer. Enfin le maniement en était difficile et le dépouillement incommode.

L'acquisition par l'Institut d'un cylindre enregistreur électrique universel Boulitte a supprimé la plupart de ces inconvénients. Un chariot à poulie, construit et monté spécialement, portant l'oscillographe et un chronographe direct de Jacquet au 1/5e de seconde, se déplace parallèlement à l'axe du cylindre (voir photographie, fig. 4). La vitesse de 11 cm. par seconde permet l'inscription convenable des battements pendant plusieurs minutes consécutives sur une même feuille. En prenant les précautions que je signalerai dans l'exposé du travail, j'ai obtenu ainsi des résultats très satisfaisants.

CHAPITRE II

Étude de la stabilité du dispositif

1. *Influence de la température.*

Pour que les battements puissent servir simultanément d'une part à diviser régulièrement le temps, d'autre part à révéler un changement de capacité ou de self sous l'action d'une certaine perturbation, il faut avant toute autre condition que leur fréquence soit constante et que la loi de leur courbe d'inscription reste la même quand la perturbation considérée ne se produit pas.

Il y a lieu d'envisager plusieurs causes de variations.

Les influences électriques extérieures sont diminuées quand les parties essentielles des trois circuits précédemment décrits sont placées à l'intérieur d'une cage de Faraday. Dans les premières mesures que j'ai faites, le dispositif était assez peu encombrant pour qu'une caisse grillagée formée de mailles serrées de laiton ait pu les contenir (dimensions : 74 cm., 36 cm., 36 cm.) ; les fils extérieurs d'amenée des courants furent par précaution entourés de tubes protecteurs métalliques mis au sol (tubes Bergmann).

Pour observer la constance j'ai d'abord suivi les battements au téléphone. C'est ce que dans la suite, pour simplifier le langage, j'appellerai la « méthode auditive ». A mon étonnement, j'ai observé une modification continue de la hauteur des battements, analogue à celle que produirait un changement progressif de capacité dans un des circuits émetteurs. Ainsi, partant d'un son aigu, la hauteur diminuait, les battements cessaient, puis leur nombre augmentait. J'ai alors songé à l'influence des variations de température dans la cage et y ai installé un thermomètre au 1/5^{e} de degré, dont je pouvais apprécier aisément le 1/4 de division, et j'ai cons-

taté que la température s'élevait en même temps que le son changeait. Au bout d'un temps de l'ordre de trente-six minutes dans les conditions où j'opérais, le son semblait se stabiliser, autant que je pouvais m'en assurer par suite de la hauteur difficile à apprécier, le son étant très aigu.

Inversement, si après extinction des lampes, la température étant redescendue à sa valeur initiale, les circuits étaient excités à nouveau, les battements se reproduisaient, eux aussi, dans les conditions primitives.

Pour mieux juger du phénomène, je fis une inscription sur l'appareil Boulitte à bande de papier. Les résultats du dépouillement de la bande obtenue figurent dans la courbe (fig. 5), où les temps sont portés en abscisses et le nombre des

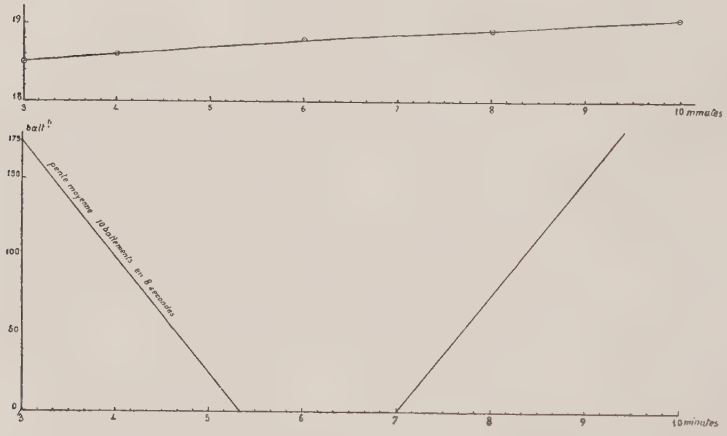


Fig. 5. — Courbes de variation du nombre des battements et de la température.

battements par seconde en ordonnées. La courbe de variation de température à l'intérieur de la cage est représentée au-dessus de la précédente ; la température est restée comprise entre 18°2 et 19°05 pendant les dix premières minutes de marche. Des perturbations plus ou moins irrégulières se produisent pendant les premières minutes de chauffage. Pour

les éviter et aussi pour diminuer la longueur de bande enfumée utile, je n'ai inscrit les battements tout d'abord que de la troisième jusqu'à la dixième minute. La courbe montre que la variation moyenne a été de 10 battements en 8 secondes avec une variation de température de 1/14e de degré par minute.

Je n'ai représenté dans le graphique que la ligne moyenne passant par les points. La photographie (fig. 6) représente un fragment de la bande.

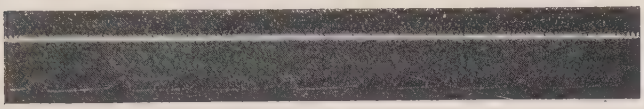


Fig. 6. — Fragment d'inscription sur bande (longueur réelle : 1 s. = 7 cm.).

Au bout de 39 minutes, sans avoir interrompu le fonctionnement des lampes, je procédai à une deuxième inscription, après avoir toutefois agi sur la capacité réglable d'un des circuits, afin de ramener les battements à une fréquence inscriptible dans les limites de mon dispositif (350 battements, comme il a été dit plus haut). Le dépouillement de l'inscription donne une courbe qui accuse une pente moyenne de 10 battements en 13 secondes. La variation moyenne de la

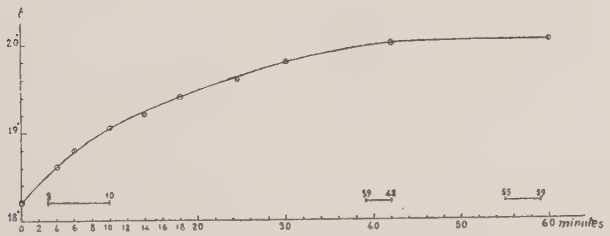


Fig. 7. — Variation de la température.

température ne fut plus alors que de 3/50e de degré, comme on peut s'en rendre compte d'après le graphique (fig. 7).

Enfin une troisième inscription réalisée de la 55e à la 59e minute conduit à une pente un peu plus faible, 10 battements en 14 à 15 secondes, la température n'ayant varié que de 1/50e par minute.

Ainsi, au bout d'une heure, la stabilité n'était pas encore absolument atteinte, et ces premières expériences montrent combien les battements sont sensibles aux faibles variations de température dues à des causes diverses. Tout d'abord, le régime de chauffage des lampes n'est pas immédiatement obtenu. Bedeau [14] met les lampes en circuit une demi-heure environ avant toute mesure, afin de rendre plus constant le courant de chauffage du filament.

On sait bien, en effet, comme l'ont confirmé les travaux de Eccle et Vincent [15] [16], que la constance du courant de chauffage a une influence importante. Mais la longue durée d'instabilité que je mettais en évidence prouvait bien que d'autres causes de perturbation interviennent.

On peut renverser le problème et, comme Sucksmith [17], utiliser l'extrême sensibilité du dispositif des battements pour déceler des variations de température de l'ordre de 1/16 000e de degré centigrade. Il était naturel d'incriminer une variation dissymétrique de capacité ou de self dans les circuits émetteurs, ou dans le circuit récepteur, due à l'action de la chaleur émise par les lampes, bien que les calculs de variation de capacité sous l'influence de dilatations, d'ailleurs forcément très approximatifs, ne concordent pas avec les résultats d'expériences. J'ai pourtant pris à partir de ce moment toutes les précautions nécessaires : c'est ainsi que les fils joignant le filament à la self des circuits oscillants qui passaient au voisinage de la partie chauffante de la lampe furent courbés en sens inverse. Les extrémités des fils de self aboutissant au condensateur furent également écartées le plus possible des lampes. Des inscriptions partielles furent faites quelques secondes au début et à la fin des expériences, le temps écoulé dans l'intervalle étant chronométré. Ces précautions apportèrent une amélioration ; la variation moyenne

passa de 200 battements en 4 minutes 40 secondes à 200 battements en 8 minutes 11 secondes.

Je plaçai ensuite des écrans d'amiante successivement sur les diverses parties des circuits. Par exemple le condensateur du circuit récepteur fut seul protégé du chauffage des lampes ; la variation fut de 200 battements en 6 minutes 24 secondes. Lorsque les écrans étaient mis entre les lampes et les condensateurs variables des circuits émetteurs, la variation restait de l'ordre de 200 battements en 8 minutes 20 secondes.

Ainsi la protection des divers éléments enfermés dans la cage faisait varier la pente des courbes représentant la modification des hauteurs des battements en fonction du temps, sans toutefois la supprimer.

Des essais de différentes lampes émettrices n'apportèrent pas non plus de solution au problème de la stabilité.

De ces tentatives résultait la conclusion qu'il était indispensable de retirer les triodes de la cage protectrice et de les placer à distance, par exemple sous la table, dans une seconde cage de Faraday. J'ai appris que Belz [18] avait également été conduit à mettre les lampes dans une boîte à part entourée d'amiante et que W. Werner et W. H. Keesom [19] avaient éliminé l'effet dû à l'échauffement des lampes en les couvrant d'une enveloppe métallique maintenue à température constante par un courant d'eau. Mes conclusions sont donc bien d'accord avec celles de divers auteurs.

Les lampes étant séparées des autres parties des circuits, une inscription fut faite avec l'appareil à bande pendant 9 minutes 10 secondes. Je dépouillai les résultats non plus seconde par seconde, comme dans les premiers essais, mais de 10 secondes en 10 secondes, sauf toutefois pour deux régions prises au hasard, afin de me rendre compte des écarts produits d'un instant à l'autre. Pendant l'inscription la température passa de 15°2 à 15°4. La pente moyenne de variation ne correspondait plus qu'à 10 battements en 180 secondes, ce qui montre que l'isolement des lampes apporte,

conformément à l'attente, une amélioration très importante (fig. 8).

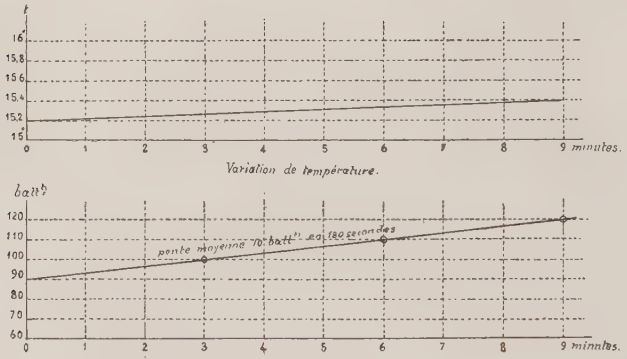


Fig. 8. — Variation du nombre des battements après éloignement des lampes.

Cependant les écarts d'une seconde à l'autre pouvant encore atteindre 20 battements et davantage, une stabilité suffisante n'était pas encore obtenue. Si les battements pouvaient déjà être susceptibles de certaines applications, les variations rapides rendaient impossibles des mesures de précision ; il convenait en tout cas de rechercher les dernières causes de variations.

2. *Influence du mouvement au voisinage de l'appareil.*

Si l'on se rappelle que le dispositif peut être appliqué en microphonie, on conçoit qu'en raison de sa très grande sensibilité il présente par là même de l'instabilité au moindre déplacement relatif des différentes parties du circuit. Il était indispensable d'éviter tous les mouvements ou déplacements parasites. D'ailleurs d'autres auteurs que moi ont pris des précautions de ce genre en vue de mesures précises. Belz avait établi son appareil au rez-de-chaussée sur des amortisseurs en caoutchouc reposant sur des piliers de pierre. Wagstaff [20] était obligé d'opérer entre minuit et trois

heures du matin. Bedeau [14] montait les cages de Faraday sur des supports de caoutchouc et la lampe oscillatrice était suspendue à des fils de même substance.

Au cours de ces premiers essais, j'ai dit que l'inscripteur était l'appareil à bande ; il était installé dans le laboratoire même où les battements étaient émis. Les mouvements qu'il me fallait faire pour étendre sur le sol la bande enfumée, d'une part, et d'autre part la rotation même du dérouleur, étaient autant de causes d'ébranlement défavorables à la stabilité.

De nouveaux essais réalisés avec le cylindre enregistreur électrique Boulitte montrèrent une amélioration sensible, comme on peut s'en rendre compte par l'examen des deux graphiques ci-dessous. L'un (fig. 9) est extrait de la courbe

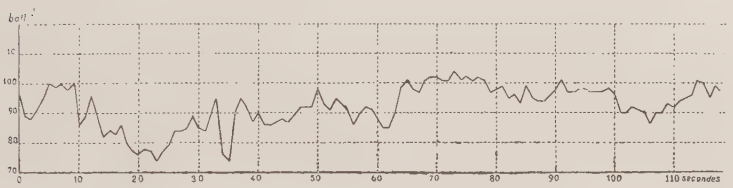


Fig. 9. — Inscripteur à bande. Variation des battements.

(fig. 8) et représente dans tous ses détails les variations inscrites par le premier appareil dont la bande était entraînée par un mouvement d'horlogerie ; l'autre (fig. 10) correspond

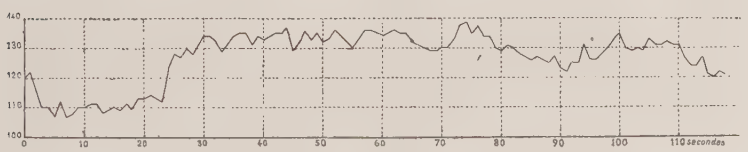


Fig. 10. — Enregistreur électrique. Variation des battements.

à l'enregistrement électrique. La fig. 11 reproduit un fragment d'inscription obtenue avec l'enregistreur électrique.

Pour la comparaison, il y a lieu de tenir compte du fait

que le premier graphique a été obtenu dans le cours de la journée, alors que le second correspond à des expériences

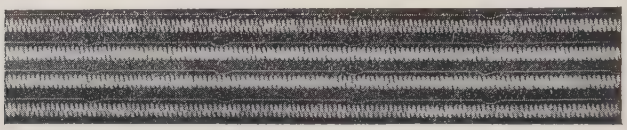


Fig. 11. — Fragment d'inscription par enregistrement électrique (longueur réelle : 1 s. = 11 cm.)

exécutées à quatre heures du matin. Le laboratoire se trouve sur un boulevard fréquenté ; les mesures de nuit sont plus favorables. J'ai voulu me rendre compte des perturbations apportées par le passage des véhicules, et c'est déjà là une expérience dans la voie de la séismologie appliquée. Sur la courbe (fig. 12), on peut constater l'effet produit par le passage d'un auto-camion, la fréquence varie de 172 bat. sec. à 80 bat. /sec.

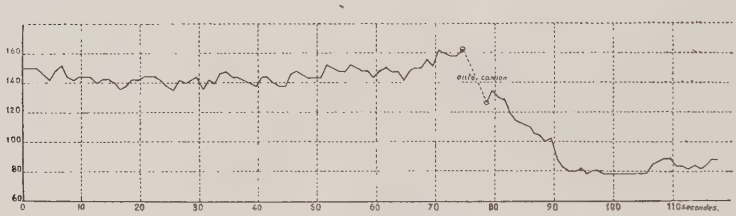


Fig. 12. — Passage d'un auto-camion.

L'inscription (fig. 13) traduit les perturbations apportées par un tramway et par un camion.

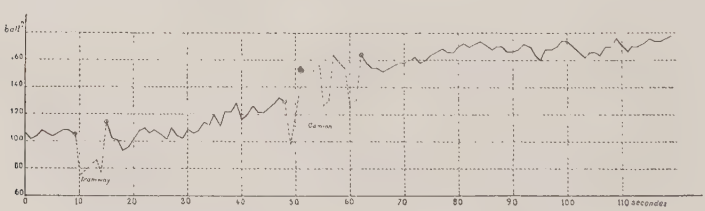


Fig. 13. — Passage d'un tramway et d'un camion.

L'inscription reproduite par le graphique (fig. 14), faite le même jour que les deux précédentes mais à quatre heures du matin, montre que cette heure matinale est, toutes choses égales d'ailleurs, favorable à la stabilité.

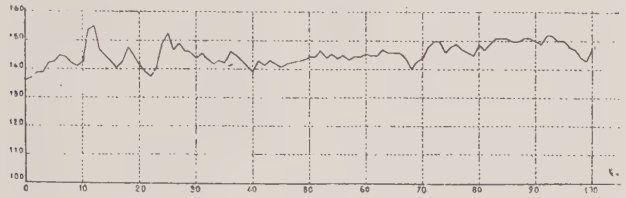


Fig. 14. — Inscription à quatre heures du matin.

D'autres améliorations furent encore apportées ; telle la suppression du fil double torsadé assurant la liaison entre l'amplificateur et l'oscillographe et suivant son déplacement sur le chariot le long du cylindre enregistreur. J'ai déjà indiqué combien des déformations des circuits, même insignifiantes en apparence, sont nuisibles à la constance des battements. La connexion entre l'amplificateur et l'oscillographe fut assurée par l'intermédiaire de fils fixes indéformables terminés par des rubans de cuivre se déplaçant pendant la marche du chariot, dans des rainures remplies de mercure et creusées dans un bloc de bois disposé parallèlement à l'axe du cylindre. Le mercure était, en outre, en liaison avec les fils venant de l'amplificateur. Le graphique (fig. 15) montre nettement l'amélioration apportée par cette modification du montage.

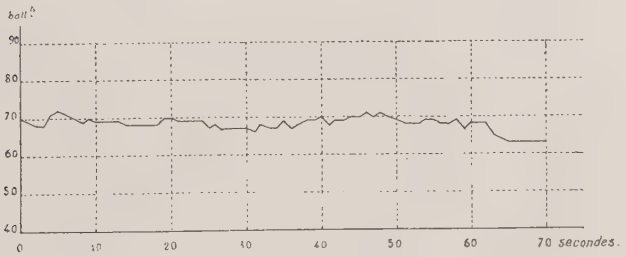


Fig. 15. — Emploi d'une cuve à mercure. Battements.

Il est à remarquer que la stabilité subsiste pendant un temps très court, ce que l'on peut mettre en évidence par un dépouillement par 1 /10e de seconde (voir graphique, fig. 16).

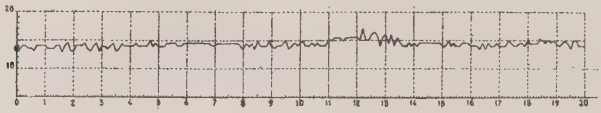


Fig. 16. — Dépouillement par dixième de seconde.

L'agitation microséismique présentait une assez grande importance au moment de ces essais. La sensibilité aux vibrations extérieures était telle que je me suis demandé s'il n'y avait pas lieu d'établir un rapprochement entre les courbes de variations des battements et le mouvement microséismique. Des inscriptions faites à une heure déterminée permettent de comparer sinon les intensités, du moins les périodes des deux phénomènes considérés. Si la plupart des observations ne conduisent à aucune conclusion positive, certains des fragments reproduits ci-dessous (fig. 17) peuvent faire croire à une influence possible de l'agitation micro-

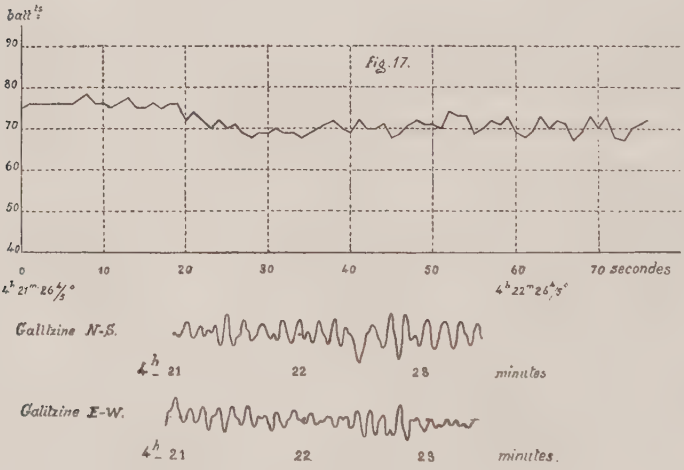


Fig. 17. — Battements et agitation microséismique.

séismique. On peut remarquer notamment que la période de 6 secondes est commune aux diverses inscriptions, pendant un temps très court il est vrai, vers 4 h. 22 m. L'appareil tel qu'il était dans cette phase de mon travail pouvait être perturbé par l'agitation, mais n'était pas en état de l'inscrire régulièrement, et je me réserve de revenir plus tard sur ce sujet.

J'ai enfin mis aisément en évidence l'influence du moteur électrique entraînant l'enregistreur et perturbant les battements par suite des vibrations qu'il communiquait à l'ensemble de l'appareil générateur. L'inscription (fig. 18) fait clairement ressortir cette action.

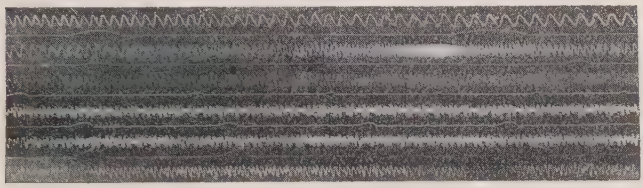


Fig. 18. — Effet du moteur d'entraînement.

Le déplacement du cylindre à la main donne des sinusoïdes régulières ; elles se déforment sous l'action du moteur et simulent des interférences. Cette cause immédiate d'erreurs fut évitée par l'installation du cylindre dans une pièce de l'étage supérieur, le reste du dispositif demeurant au rez-de-chaussée. La stabilité ne fut pas encore parfaitement réalisée, ainsi qu'on le voit sur la courbe ci-jointe (fig. 19) qui cependant dénote un réel progrès sur les résultats précédents. Il est utile d'ajouter qu'au cours de ces premières

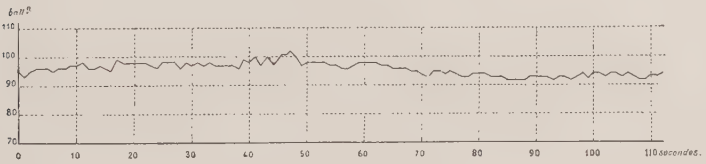


Fig. 19. — Battements en couplage serré.

expériences les couplages étaient très serrés et la sensibilité de l'appareil très grande, comme la théorie de la résonance permet de le prévoir, si bien que la variation d'une unité dans le nombre des battements ne correspondait alors qu'à une variation très petite de la capacité. Le défaut de stabilité est un corollaire de la grande sensibilité.

3. *Cas d'un couplage lâche.*

Toutes ces expériences furent faites avec le couplage serré qui assure la sensibilité microphonique. Plus tard, pour des raisons que j'indiquerai, les circuits furent éloignés les uns des autres et le système perdit beaucoup de sa sensibilité aux mouvements ou bruits extérieurs : l'appareil cessait d'être un microphone ultra-sensible.

Par contre, le faible couplage permettant une résonance simple entre deux ondes bien définies avec une courbe à un seul maximum, la théorie se simplifiait ; les courbes des battements devenaient plus normales et se rapprochaient davantage de sinusoïdes. Le fait d'éloigner les bobines l'une de l'autre à des distances de 60 cm. m'obligea à renoncer à l'usage des cages de Faraday. La pratique montra que l'inconvénient de cette suppression était faible : la salle en ciment armé qui contenait le dispositif électrique étant isolée, les fils à poste fixe, l'opératrice se tenant à l'étage supérieur, aucune variation de self ou de capacité ne pouvant intervenir, je réussis à atteindre sans cage métallique une stabilité tout à fait satisfaisante, susceptible de mesures précises, comme le montre le graphique (fig. 20), dont je ne

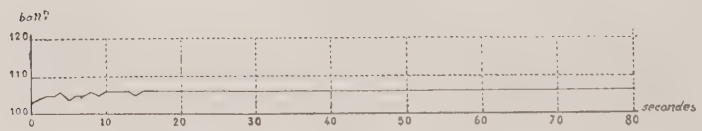


Fig. 20. — Battements en couplage lâche.

reproduis qu'un fragment d'une zone de 180 secondes pendant lesquelles la fréquence est restée comprise, à partir de la 15e seconde, entre 116 et 117 battements. Dans le reste de l'inscription vient ensuite une région correspondant à 92 secondes pendant lesquelles la fréquence est de 117 à 118 bat./sec., et enfin, pendant encore 238 secondes, on compte 119 à 120 bat./sec. La stabilité a donc atteint dans ce nouveau dispositif une perfection suffisante.

CHAPITRE III

Étude préliminaire du phénomène des battements électriques

1. *Forme des courbes de battements.*

La stabilité étant assurée, il était possible de procéder à une étude systématique des battements. Mon attention fut d'abord appelée sur leur forme compliquée quand le nombre des battements par seconde était peu élevé, de l'ordre de 50 par exemple, ou au-dessous. Je remarquai que les courbes inscrites rappelaient celle obtenue en inscrivant avec l'ap-

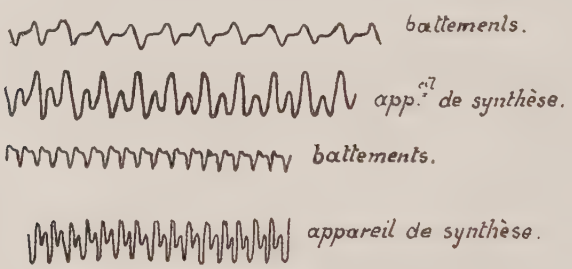


Fig. 21. — Forme des battements et comparaison avec une courbe fournie par l'appareil de synthèse.

pareil de synthèse des mouvements périodiques [21] la résultante d'un mouvement sinusoïdal et de l'harmonique.

Les graphiques ci-dessus rendent compte de l'analogie. On trouve ces formes également avec les couplages lâches pour les battements au voisinage de la résonance. De plus, en faisant varier la capacité du condensateur de l'un des circuits, je trouvai de nombreuses valeurs successives pour lesquelles des battements étaient perceptibles à l'oreille avec le téléphone, sans que l'intensité fût suffisante pour l'inscrip-

tion. Celle-ci n'était possible que dans des conditions précises.

2. *Mesures électriques des circuits.*

L'étude électrique des battements comporte celle des selfs et des capacités des circuits qui déterminent leur longueur d'onde.

Capacité. — Les capacités variables furent comparées à celle d'un ondemètre étalonné.

Le condensateur n° 983 a une capacité variant de 0,000065 μF pour la division 0 à 0,00173-178 μF pour la division 120. Le condensateur n° 937 varie de 0,00010 μF à 0,00193 μF.

Selfs. — Les valeurs des selfs peuvent être calculées par des formules classiques, mais approximatives. J'ai préféré les déterminer expérimentalement à l'aide d'une self étalon et de l'ondemètre déjà cité dont les selfs sont aussi connues.

Il était facile en employant, comme pour les capacités, la méthode de la résonance en couplage lâche, de se rendre compte de l'idendité des selfs des circuits émetteurs. Pour connaître leur grandeur, je les comparai à une self étalon dont la forme spéciale permet de déterminer directement la valeur par le calcul.

La carcasse est un tore de bois de 7 cm. de rayon moyen ; la longueur moyenne de la circonférence est donc $l = 14\,\pi$.

La section est $s = 6{,}6$. Le nombre de spires $N = 44$.

D'après la formule simple donnée dans [12]

$$L = 4\,\pi\,N^2\,s\,\frac{1}{l} = 19800 \text{ u e m} = 0{,}0000198 \text{ henry.}$$

Les selfs des circuits émetteurs furent trouvées de l'ordre de 23 000 à 25 000 u e m.

Longueurs d'onde. — Les longueurs d'onde furent déterminées également à l'aide de l'ondemètre. Elles figurent dans les tableaux et courbes ci-après (fig. 22) et sont exprimées par rapport aux divisions des condensateurs.

Circuit II Divisions	Condensateur n° 937 λ (en m.)	Circuit I Divisions	Condensateur n° 983 λ (en m.)
30	200		
31	203		
32	210		
33	213		
34	216	30	180
35,5	220	35	203
39	230	40	212
41,5	240	45	229
45,5	250	50	248
48,5	260	55	256
52	270	60	268
54,5	280	70	290
55	282		
56	285		
57	289		
58	291		
62	300		

Mesures de contrôle. — Pour vérifier approximativement la concordance des mesures précédentes, j'ai réalisé des battements pour différents règlages des circuits I et II. J'ai supposé valable la formule classique simple de Thomson $T = 2\pi\sqrt{CL}$ pour une self constante $\lambda = vT$. Si $\frac{\lambda_2}{\lambda_1} = x$ $\frac{\sqrt{C_2}}{\sqrt{C_1}} = x$, d'où : $\frac{C_2}{C_1} = x^2$.

J'ai tenu compte dans le circuit I de la présence en dérivation aux bornes C_1 C_2 d'un condensateur cylindrique supplémentaire de réglage.

Circuit II		Circuit I		$\frac{\lambda_2}{\lambda_1} = x$	$\left(\frac{\lambda_2}{\lambda_1}\right)^2$	$\frac{C_2}{C_1} = x^2$
C_2 µF	λ mètres	C_1 µF	λ mètres			
0,00072	252	0,00046	203	1,24	1,54	1,56
64	235	39	181	1,29	1,69	1,64
69	245	44	197	1,24	1,54	1,57
78	265	55	216	1,22	1,50	1,44
80	270	64	235	1,15	1,32	1,25

3. *Conditions de formation des battements.*

Des expériences de contrôle analogues à la précédente ont été instituées pour déterminer les conditions de formation

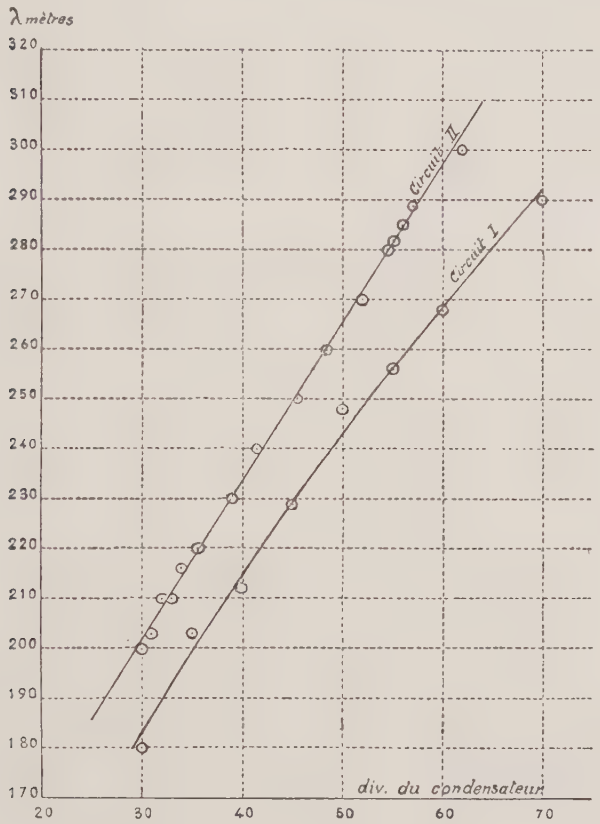


Fig. 22. — Longueurs d'onde des circuits I et II en fonction des divisions du condensateur.

des battements. Le circuit récepteur, qui fut plusieurs fois modifié au cours des expériences, fut naturellement aussi étalonné.

Dans ces conditions, j'ai constaté :

1° Si $\lambda_{II} = \lambda_{III} = 235$ mètres, les valeurs de λ_1, pour les-

quelles les battements se produisaient, étaient : 185, 203, 235, 245, 253, 272, 400 et 466 m.

En résumé, les λ_I se groupent autour de la valeur commune :

$$\lambda_{II} = \lambda_{III} = 235 \text{ mètres}$$

et autour de :

$$2\,\lambda_{II} = 2\,\lambda_{III}.$$

Pour $\lambda_I = 235$ m., qui correspondrait aux conditions normales d'obtention des battements, ceux-ci n'existaient que dans les notes hautes, non inscriptibles, et disparaissaient vers les fréquences les plus basses, et non pas seulement pour la résonance proprement dite. Ce phénomène a déjà été signalé et étudié par Mercier [22] et consiste, si le couplage est serré, dans la disparition brusque des battements lorsqu'on cherche à amener deux oscillateurs à l'accord parfait. Il se produit une *plage de synchronisation*. La même constatation a été faite par Wolf [23].

2° Si $\lambda_{II} = \lambda_{III} = 265$ m., les valeurs de λ_I étaient : 135, 140, 149, 159, 190, 200, 213, 217, 227, 261 (valeur qui correspond évidemment à 265 m. et donne comme précédemment une coupure dans les battements lorsqu'on approche de la résonance), 286, 297, 325, 434, 443, 449, 455, 463, 473, 482, 496 m.

La répartition des λ_I est identique à celle de l'expérience précédente ; on relève un groupe de valeurs inférieures à 265 m., un groupe de valeurs supérieures, l'accord des trois longueurs d'ondes avec le phénomène de coupure signalé, un groupe de valeurs inférieures à 265 m. $\times 2$. Le groupe de valeurs supérieures manque, parce que les montages ne permettent pas pour elles un bon fonctionnement.

Des expériences réalisées dans des conditions symétriques, c'est-à-dire $\lambda_I = \lambda_{III}$, ont donné des résultats analogues pour les valeurs que devait prendre λ_{II}.

3° Si $\lambda_{II} = C^{te}$ $\lambda_{III} = C^{te}$ mais $\lambda_{II} \neq \lambda_{III}$.

J'ai cherché les différentes valeurs de λ_I donnant le phénomène des battements.

1er exemple :

$\lambda_{II} = 265$ m. $\lambda_{III} = 320$ m.

$\lambda_I =$		
		(135)
137 m.		
		(140)
149		(149)
155		
		(159)
175		
190		(190)
		(200)
208		
		(213)
217		(217)
227		
261	(coupure)	(261)
273		
283		
		(286)
295		
		(297)
322		(325)
330		
342		
354		
		(434)
		(443)
449		(449)
459		(455)
		(463)
471		(473)
479		
		(482)
490		
		(496)

2e exemple :

$\lambda_{II} = 235$ m. $\lambda_{III} = 244$ m.

$\lambda_I =$	
143	
150	
157	
168	
186*	
209	
235	(coupure des battements de basse fréquence)
255*	
267	
278	
290	
295	
403	
415	
425	
447	
463*	
485	
498	

Les valeurs trouvées dans l'expérience précédente ont été reportées entre parenthèses, pour mieux mettre en évidence les nouveaux points d'accord dus à l'introduction d'une troisième longueur d'onde différente des deux autres.

On peut penser que la complexité du problème résulte encore d'un couplage trop serré entre les circuits provoquant d'une part *la coupure des battements pour des périodes communes dans les circuits émetteurs*, et d'autre part donnant naissance à des périodes d'accord dans les circuits considérés. Phénomène analogue à celui qui se produit dans deux circuits accouplés de période T ; deux oscillations prennent

naissance, $T_1 < T < T_2$, et T_1 et T_2 diffèrent d'autant plus de T que le couplage est plus serré. L'oscillation de période la plus courte a la plus grande amplitude. Ceci est lié à la grande sensibilité du dispositif employé dans les premiers essais.

D'ailleurs les battements ne se produisent pas avec la même intensité dans chacun des cas. Ainsi toutes les inscriptions correspondant aux nombres trouvés dans le deuxième exemple cité plus haut ont été réalisées. Seuls les réglages marqués d'un astérisque ont fourni de bonnes inscriptions. C'est donc pour des valeurs précises des longueurs d'ondes des trois circuits que les battements ont une intensité maximum.

J'aurais pu m'arrêter aux conditions dans lesquelles il était possible d'inscrire le phénomène, mais l'appareil accusait alors une telle sensibilité qu'il eût été très difficile de le soustraire aux perturbations parasites ; et ainsi apparaissait la nécessité, comme je l'ai déjà indiqué (p. 24), de désaccoupler les circuits et de se placer dans les conditions théoriques les plus simples.

4. Résultats expérimentaux en couplage lâche.

En couplage serré, la distance des bobines d'induction des circuits I et II à la self du circuit III était de 5 cm. Des essais successifs m'ont montré que la distance de 60 cm. était celle qui permettait de resserrer le plus la plage de synchronisation comprise entre deux coupures de battements, tout en mettant en jeu une énergie suffisante pour une inscription avec amplification convenable.

Dans ces conditions, le petit condensateur cylindrique en dérivation aux bornes C_1 et C_2 de la capacité du circuit I (voir p. 6) était remplacé, pour des raisons qui seront exposées dans le chapitre suivant, par un condensateur plan. J'ai alors entrepris une série d'expériences destinées au tracé de

courbes montrant comment les battements varient en fonction de la variation de capacité[1].

Le *condensateur plan de mesure*, dont la description sera donnée plus loin (voir p. 40), avait des armatures rectangulaires de dimensions 7 cm. 5 et 2 cm. 2 ; leur distance E était variable, mais pouvait être déterminée à 2 μ près. La capacité fut calculée par rapport à cette distance en appliquant la formule simple $C = \frac{S.}{4\pi E}$

Les circuits I, II et III furent accordés sur la même longueur d'onde $\lambda = 260$ m. ; en relevant ou en abaissant l'armature supérieure du condensateur plan, j'obtenais les battements que j'inscrivais.

J'indique dès maintenant, pour la compréhension du tableau ci-dessous, que les distances sont mesurées par des tours de vis et que chaque tour de vis correspond à un déplacement de 200 μ. On trouvera plus loin, p. 42, la description détaillée du dispositif.

Emploi d'accumulateurs. — Avec les tensions plaques des lampes des circuits I et II *fournies par des accumulateurs*, j'ai trouvé les résultats ci-dessous :

	Distance E	Capacité du condensateur plan en u e s	Battements
1°	10t 10	6,5001	156
	20	6,4364	101
	30	6,3739	47
	70	6,1356	151
	80	6,0788	198
	90	6,0230	245
2°	10t 60	6,1935	157
	70	6,1356	107
	80	6,0788	58
	11t 10	5,9145	78
	20	5,8617	121
	30	5,8098	165

1. Des expériences préliminaires réalisées avec le condensateur cylindrique avaient mis en évidence la complication du phénomène dans le cas du couplage serré.

Emploi de redresseurs chargeurs. — Le voltage des plaques dans les circuits I et II étant alimenté par des redresseurs[1], les mesures ont fourni les résultats suivants :

Distance E	Capacité du condensateur plan en u e s	Battements
10t 10	6,5001	189
20	6,4364	120
30	6,3739	51-54 } région
60	6,1935	53-55 } perturbée
70	6,1356	55 }
80	6,0788	100-101
90	6,0230	161
11t 00	5,9682	215

Comparaison des résultats. — Les graphiques (fig. 23) montrent qu'en se servant d'accumulateurs, les courbes obtenues se rapprochent beaucoup de celle qui correspond à la formule connue : $dn = \pm \frac{1}{2} N \frac{dC}{C}$

On a déjà vu, page 4, que si $\lambda = 260$ m. $C = 0{,}00078$ µF

$$dn = \pm \frac{1}{2} \frac{3.10^8}{260} \frac{\Delta C}{0{,}00078 \,.\, 9.10^5}$$

on peut calculer le nombre de battements correspondant à $dC = 0{,}1$ u e s et l'on trouve le chiffre théorique de 81 battements environ.

Les résultats expérimentaux cités donnent une variation de l'ordre de 80 à 90 battements pour $dC = 0{,}1$ u e s.

Lorsque l'entretien est fait par l'intermédiaire de redresseurs, les deux droites traduisant la variation de dn avec dC ne se coupent plus au voisinage de l'ordonnée $n = 0$ et la variation correspond à 113 battements pour 0,1 u e s. Les redresseurs amènent donc une complication analogue à celle que j'avais observée en couplage serré.

1. J'ai utilisé le modèle « Elcosa » construit par la maison Electro-Construction S. A., Metzgerau-Strasbourg.

J'ai également constaté expérimentalement que l'emploi

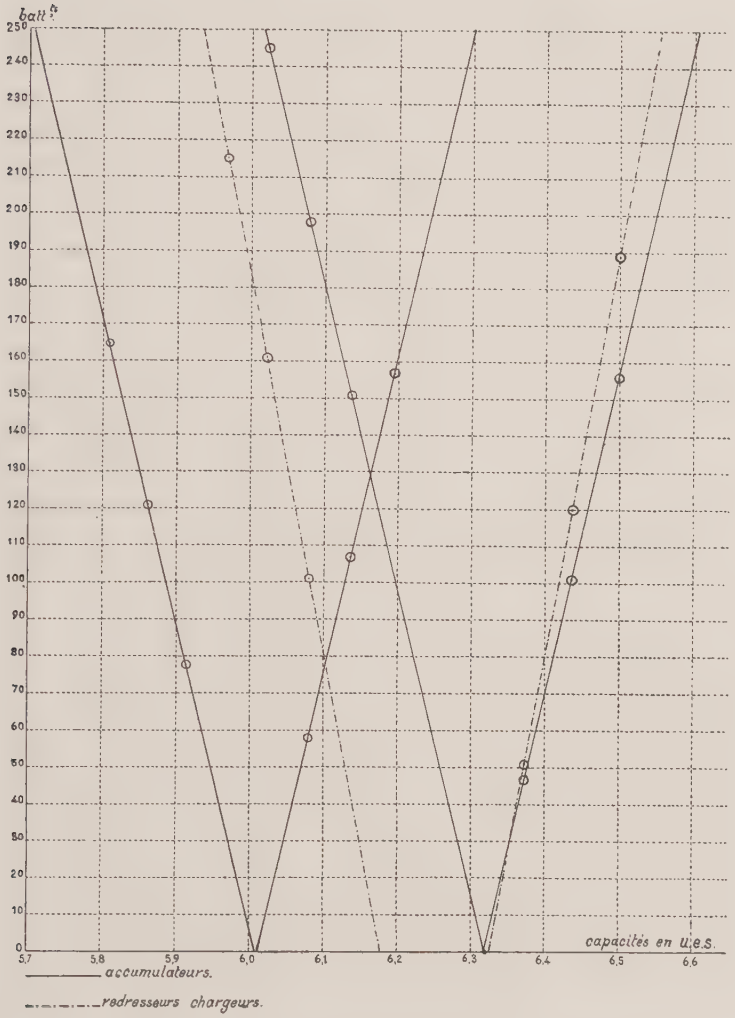


Fig. 23. — Nombre des battements en fonction de la capacité (accumulateurs, redresseurs).

dans le troisième circuit d'une longueur d'onde différente de celle des circuits I et II produisait un effet de même genre ;

les droites figurant la variation de n avec C ont un coefficient angulaire plus élevé et elles se coupent au delà de l'ordonnée $n = 0$, de telle manière que, sur une grande étendue de variation de capacité, il n'y a plus de battements. Pourtant ce phénomène ne saurait être confondu avec celui qui correspond aux constatations expérimentales suivantes.

Limite inférieure du nombre des battements. — Même dans les mesures faites avec des accumulateurs, je n'ai pas signalé de battements de fréquence inférieure à 43 bat./sec., car si pour $n > 50$ les battements sont réguliers et de forme sinusoïdale, pour $n < 50$ ils sont en général de forme compliquée, quelquefois si irréguliers qu'il devient impossible de les compter ; conditions mauvaises pour les mesures de temps que j'avais en vue. Les nombreuses expériences que j'ai faites avec des amplificateurs de divers types m'ont convaincue que ceux-ci ont un rôle dans la déformation des battements, car la forme des inscriptions change avec le type utilisé. Toutefois, *quelle que soit l'amplification, la région perturbée existe toujours.*

Ces irrégularités peuvent s'expliquer de deux façons : ou bien, au voisinage de la région de coupure des battements, les circuits I et II se synchronisent un peu avant la résonance vraie et les courbes inscrites par l'oscillographe correspondent à des oscillations parasites ; ou bien, s'il n'y a pas synchronisation, les battements ont une trop faible intensité et sont déformés par les oscillations parasites importantes venant de l'amplification.

Il est clair que des mesures précises ne peuvent être faites qu'à condition de s'éloigner de la région perturbée.

Comparaison des résultats pour des distances variables des armatures. — Enfin, pour terminer, je rapporterai les résultats des mesures qui fixent le rôle possible de la distance des armatures, les trois circuits ayant comme précédemment une même longueur d'onde $\lambda = 260$ m., et le condensateur plan ayant le même rôle dans le montage.

E distance des armatures	Nombre de battements	Variation du nombre des battements	Capacité en u e s du condensateur plan	ΔC	Valeur de ΔC en u e s pour une variation de 100 battements
6^t 70 = 1340 μ	156-156		9,7986		
		61		0,0726	0,119
75	94-95		7260		
		60		0,0715	0,119
80	35		6545		
		114		0,1399	0,125 passage à la réso-
90	79		5146		
		58		0,0685	0,118 nance
95	136-137		4461		
9^t 80 = 1960 μ	209-208		6,6991		
		57		0,0677	0,118
90	151-151		6314		
		55		0,0663	0,114
10^t 0	96-96		5651		
		158		0,1912	0,122 passage à la réso-
30	62-62		3739		
		52		0,0613	0,117 nance
40	113-114		3126		
11^t 70 = 2340 μ	174-174		5,6112		
		42		0,0483	0,114
60	132-133		6595		
		43		0,0493	0,114
50	90		7088		
		127		0,1529	0,120
20	37		8617		
		46		0,0528	0,114
10	83		9145		
		46		0,0537	0,116
11^t 0	129-128		9682		
		47		0,0548	0,116
10^t 90	177-175		6,0230		
13^t 10 = 2620 μ	202-202		5,0115		
		32		0,0380	0,118
20	170-169		4,9735		
		33		0,0373	0,113
30	136-137		4,9362		
		32		0,0369	0,115
40	106-105		4,8993		
		32		0,0363	0,113
50	74		4,8630		
		175		0,2069	0,118
14^t 10 = 2820 μ	101		4,6561		

E distance des armatures	Nombre de battements	Variation du nombre des battements	Capacité en u e s du condensateur plan	ΔC	Valeur de ΔC en u e s pour une variation de 100 battements
		28			
20	129		4,6233	0,0328	0,117
33t 70 = 6740 μ	111-110		1,9482		
		10		0,0116	0,116
90	101-100		1,9366		
				0,0057	0,113
34 00	97	20	1,9309		
				0,0169	
30	82-80		1,9140		
		175		0,1864	0,106
38 00	94		1,7276		
		18		0,0224	0,124
50	112		1,7050		
46t 50 = 9300 μ	90-90		1,4118		
		31		0,0311	0,100
45 50	121-121		1,4429		
		15		0,0160	0,107
00	136-136		1,4589		
43t 50 = 8700 μ	238		1,5092		0,0875
		16		0,0140	
10	222		1,5232		0,130
		11		0,0143	
42 70	211		1,5375		0,109
		26		0,0283	
43 50	237		1,5092		0,098
		55		0,0539	
42 00	183-180		1,5631		
10t 30 = 2060 μ	286		6,3739		
		52		0,0613	0,118
40	234-233		6,3126		
		52		0,0601	0,115
50	182-181		6,2525		
		52		0,0590	0,115
60	131-129		6,1935		

Résultats et conclusions. — Ces résultats obtenus avec un appareil de précision ont une double utilité : d'une part ils renseignent d'une manière claire sur les conditions d'utilisation des battements ; d'autre part ils montrent la concor-

—MAISON: A. JOBIN & YVON—

—VUE D'ENSEMBLE—

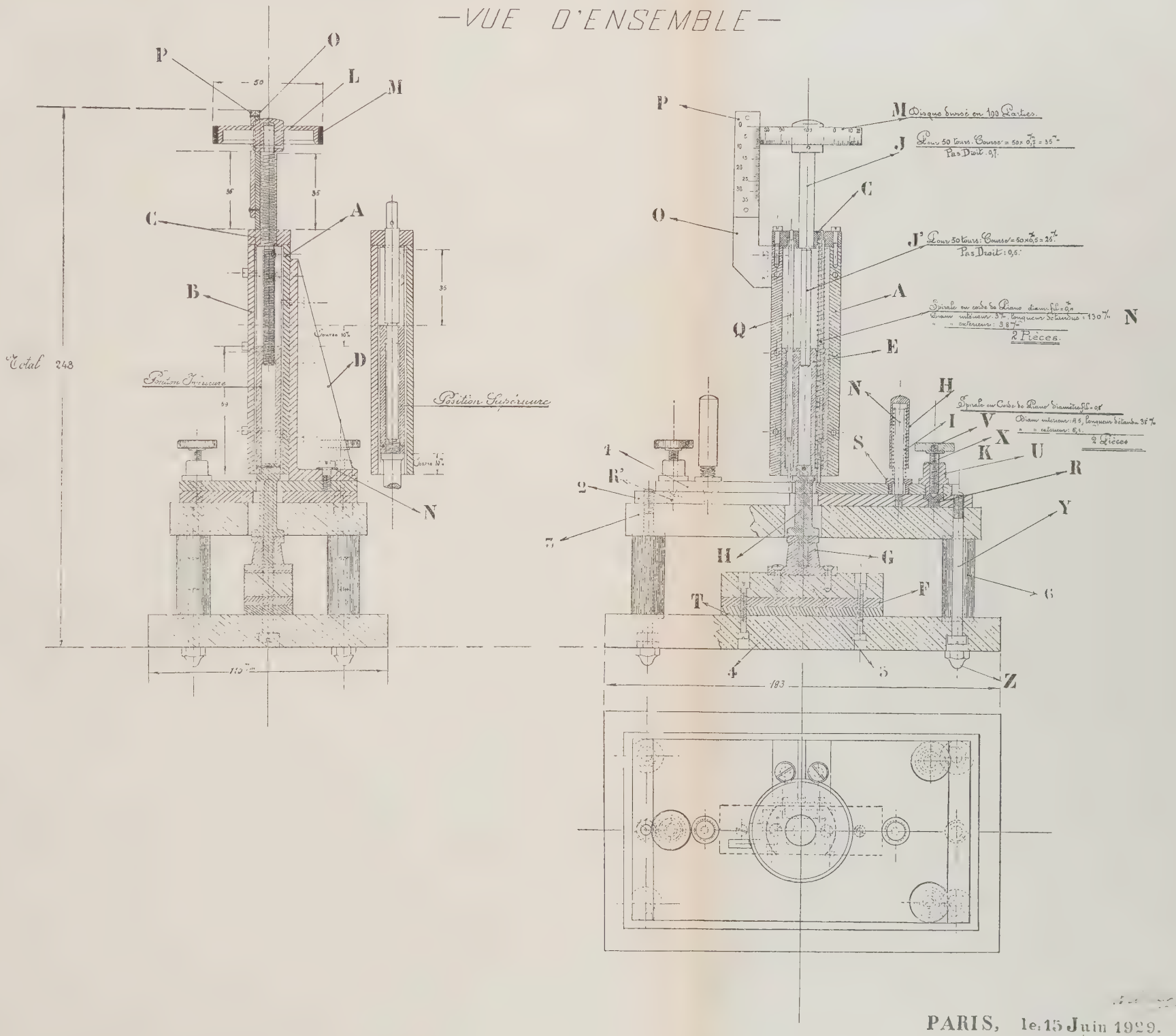


Fig. 24. — Croquis du condensateur plan.

dance pour une même variation de capacité entre la théorie et l'expérience, en permettant de calculer la variation du nombre des battements pour $\Delta C = 0{,}1$ u e s et à partir de hauteurs différentes des armatures. On a ainsi :

E	ΔC	Variation du nombre des battements	Différences par rapport à la moyenne
6^t 70 à 6^t 95	0,1	83	— 1
9 80 à 10 40	0,1	83	— 1
10 80 à 11 60	0,1	87	+ 3
13 20 à 14 20	0,1	84	0
33 70 à 38 50	0,1	82	— 2
		Moyenne : 84	

Ce dernier tableau prouve qu'il est possible, dans les conditions de ce travail, d'admettre la loi simple classique de formation des battements.

L'examen des valeurs figurant dans le tableau ci-dessus montre que de 6^t 70 à 33^t 70 la variation de capacité correspondant à 100 battements est au voisinage de 0,118, quelle que soit la hauteur considérée. On peut donc dire que réciproquement, dans ces limites, la formule simple exprimant la capacité du condensateur plan $C = \frac{S}{4\pi E}$ est valable.

Remarque. — Il y a lieu de signaler dans le tableau de la p. 37 la légère discordance qui apparaît au passage à la résonance. Diverses expériences m'ont montré qu'à de rares exceptions près, même avec les accumulateurs et sans doute à cause de la difficulté d'accorder rigoureusement λ_{II} et λ_{III}, les droites exprimant la variation de n avec ΔC ne se coupent pas exactement sur l'abscisse zéro. C'est ce qui explique sans doute les différences de la dernière colonne.

Si l'on voulait utiliser directement la variation du nombre des battements pour calculer le changement de capacité, il serait nécessaire de se placer dans les conditions correspondant à l'une seulement des branches de courbe.

CHAPITRE IV

Emploi de condensateurs a faible capacité et a petite variation pour mesures et méthodes de comparaison

1. *Description.*

Le chapitre précédent a mis en évidence le rôle important joué par les condensateurs variables pour la réalisation et l'étude des battements. Il est facile de monter des condensateurs de cette nature, tel celui qui m'a servi dans le montage indiqué page 7.

Condensateur cylindrique. — Ce condensateur comprenait un cylindre de laiton de 1 cm. de rayon formant l'armature interne et un cylindre de rayon 6 cm. comme armature externe ; chacun de ces tubes avait 10 cm. de long. Le déplacement de l'armature interne était guidé par un axe d'ébonite aussi bien centré que possible.

Condensateur plan de précision. — Mais il est utile d'avoir à sa disposition, tant pour les réglages que pour les comparaisons, un condensateur variable de précision. J'ai choisi le modèle de condensateur plan, afin de pouvoir l'appliquer à des mesures de pouvoir inducteur spécifique, dont je parlerai plus loin. On conçoit qu'un condensateur variable destiné à des mesures sur les battements doit être construit avec le plus grand soin et le maximum de précision. MM. Jobin et Yvon[1] ont bien voulu se charger de la construction de cet instrument.

Les armatures rectangulaires de cuivre de grande épaisseur — 0 cm. 45 — ont été rodées de manière à pouvoir être

1. Jobin et Yvon, 26, rue Berthollet, Arcueil (Seine).

amenées à un contact parfait. Malgré cette épaisseur elles n'ont pas donné encore satisfaction, parce qu'elles étaient fixées sur de l'ébonite dont les déformations sous l'action de la chaleur ont amené des déplacements des plaques qui au zéro n'étaient plus en contact rigoureux. Pour y remédier, les armatures ont été attachées à l'aide de vis par l'intermédiaire de petits ressorts plats réglables.

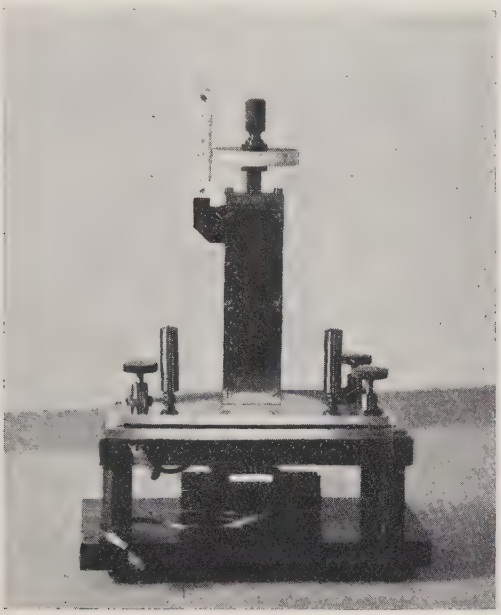


Fig. 25. — Photographie du condensateur plan.

La planéité des armatures et leur parallélisme étaient ainsi assurés. Un dispositif spécial d'entraînement permettait de déplacer une des armatures, afin de pouvoir faire varier lentement la capacité d'une quantité parfaitement connue. La précision du déplacement avait été fixée à 2μ. Le dispositif réalisé par MM. Jobin et Yvon (voir fig. 24 et fig. 25) comporte un bloc E qui coulisse dans une boîte A, analogue

à celle des micromètres à chariot des instruments de géodésie et d'astronomie, le degré de précision étant du même ordre.

Le déplacement lent est obtenu au moyen d'un dispositif différentiel de vis de manœuvre. La partie J de la vis a un pas à droite de 0 mm. 7, tandis que la partie J' a un pas à gauche de 0 mm. 5. Un tour de l'ensemble dans le sens des aiguilles d'une montre fait monter le bloc par l'intermédiaire de J de 0 mm. 7 et le fait descendre par J' de 0 mm. 5, soit au total une montée de 0 mm. 2 par tour.

Ainsi on réussit à produire des mouvements très petits au moyen de vis de pas et de diamètre suffisants pour pouvoir être usinées avec précision sur un tour à fileter. Il serait impossible d'atteindre le même résultat avec des petits pas sur des tiges de faible diamètre : ces dernières vis donneraient assurément des déplacements petits, mais inconstants, et dont la mesure serait illusoire. Des ressorts à boudin N longs et guidés assurent la suppression du jeu. Le tambour M a 50 mm. de diamètre. Il est divisé en 100 parties ; la distance des traits est approximativement de 1 mm. 5 ; chaque division correspond à un déplacement de 0 mm. 002, un tour entier correspond donc à 200 μ. Un couteau PO, divisé en 7/10 de millimètre, placé sur le côté, indique le nombre de tours entiers. Les divisions principales de la règle P et du tambour M sont fractionnées en deux parties égales ; on peut lire ainsi sur la règle P les 100 μ et sur le tambour les μ.

Le déplacement total peut être de $55 \times 200\ \mu = 11\,000\ \mu$.

Le tout est monté par l'intermédiaire d'une équerre nervurée D sur la plaque en laiton 1. Cette plaque porte trois vis calantes V, portant par « trait-point-plan » sur la plaque 2 contre laquelle elle est ramenée par deux dispositifs de ressort à boudin. La plaque 2 est fixée sur le plateau en ébonite 3, supporté lui-même par quatre colonnettes d'ébonite creuses, traversées par des tiges de laiton filetées qui par leur serrage assurent la liaison avec le socle 4 également en ébonite.

Le socle 4 est muni de trois touches arrondies Z. Les armatures de cuivre rouge du condensateur sont fixées par quatre vis de même métal, d'une part sur 5, ébonite de la partie mobile, d'autre part sur le socle 4. L'extrémité de ces vis est affleurée avec la surface.

La figure 24 pourrait faire croire, lorsqu'on ne fait pas attention au petit trait de séparation des deux parties à l'endroit des surfaces extérieures des deux armatures, que ces vis traversent 4 et 5 de part en part. Les bornes ont été mises sur les côtés de manière à ne pas se correspondre, afin de troubler le moins possible la valeur de la capacité du condensateur plan. Le constructeur garantissait la lecture à 2 μ près.

La suite du travail m'a conduite à utiliser des armatures interchangeables (fig. 26). Dans ce but le condensateur plan de mesure a été modifié de telle façon que suivant sa forme son armature inférieure repose soit directement, soit par l'intermédiaire d'une pièce d'ébonite, dans une cavité du

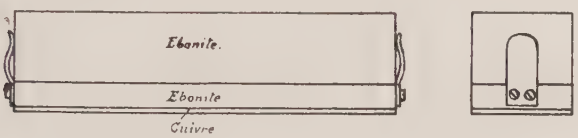


Fig. 26. — Armature interchangeable avec ressorts.

support inférieur 4. Le fil de liaison est fixé par de la cire. L'armature supérieure est maintenue au plateau d'ébonite 5, qui termine la partie mobile à l'aide de deux ressorts R et R'.

Les formes utilisées ont été :

1° Les armatures primitives rectangulaires rendues mobiles ;

2° Des armatures rectangulaires de même forme et de même surface que les précédentes, mais d'épaisseur d = 1 mm. ;

3° Des disques de diamètre $\Phi = 2$ cm. 2 et d'épaisseur $d = 1$ mm. ;

4° Des disques de diamètre $\Phi = 4$ cm. 60 et d'épaisseur $d = 1$ mm. ;

5° Des disques de même diamètre que les précédents, mais d'épaisseur $d = 2$ mm.

2. *Vérification.*

Elle fut effectuée avec un microscope ; opération assez délicate, car elle exige une stabilité parfaite de tout l'ensemble. Appareil et microscope furent fixés solidairement sur une tablette de pierre attenant au mur. Les dimensions et la forme du condensateur empêchaient les visées directes sur l'armature supérieure, mais je suivis les déplacements d'un index en laiton convenablement fixé. J'effectuai ainsi, aux différentes hauteurs, de nombreuses vérifications.

1° *Détermination de l'erreur relative.* — Valeur des divisions du micromètre : 2 μ, 21.

Déplacement du condensateur lu sur le tambour : 66,5 div.

Déplacement lu sur l'oculaire : 60 div., soit 2 μ, 21 × 60 = 132 μ, 6, d'où :

Valeur d'une division du tambour : $\frac{132.6}{66.5} = 1\mu,994$ au lieu de 2μ.

En admettant que les mesures de vérification soient parfaites, l'erreur relative n'atteint que 0,003.

2° *Deuxième série de vérifications.* — J'ai mesuré le déplacement du condensateur en divisions du tambour correspondant à 40 divisions de l'oculaire pour deux écartements différents des armatures et des sens différents de la vis.

A. — Écartement des armatures 1200 μ (règle P à 6 tours de vis).

Divisions de l'oculaire	Déplacement D_1 sur l'oculaire $2\mu,21 \times 40$	Divisions du tambour		Déplacement D_2 de l'armature $2\mu \times \ldots$	Différence $D_2 - D_1$
100 60	88,4	3 ↑ 100 59	44	88	— 0,4
60 100	88,4	60 100 4,5 ↓	44,5	89	+ 0,6
60 100	88,4	5 ↑ 100 61	44	88	— 0,4
100 60	88,4	59,5 100 4 ↓	44,5	89	+ 0,6

B. — Écartement des armatures 2400 μ (règle P à 12 tours de vis).

Divisions de l'oculaire	Déplacement D_1 sur l'oculaire $2\mu,21 \times \ldots$		Divisions du tambour		Déplacement D_2 de l'armature $2\mu \times \ldots$	Différence $D_2 - D_1$
100 59	41	90,61	60 ↑ 15	45	90	— 0,6
60 101	41	90,61	16 61 ↓	45	90	— 0,6
99 58,5	40,5	89,50	61 ↑ 15,5	44,5	89	— 0,5
100 59	41	90,61	62 ↑ 17	45	90	— 0,6

3° *Vérification par déplacement progressif.* — L'index est amené successivement de la division 0 à 91.

Écartement des armatures 1000 μ (règle P à 5 tours de vis).

Divisions de l'oculaire	Déplacement D_1 sur l'oculaire en μ	Divisions du tambour	Déplacement D_2 de l'armature $2\mu \times \cdots$		Différence $D_2 - D_1$
0		81,8			
	22,10		11,2	22,4	+ 0,3
10		93			
	22,10		11,5	23	+ 0,9
20		4,5			
	23,20		11,5	23	— 0,2
30,5		16			
	20,99		11,25	22,5	+ 1,52
40		27,5			
	22,10		11,25	22,5	+ 0,4
50		38,5			
	22,10		11,5	23	+ 0,9
60		50			
	22,10		11	22	— 0,1
70		61			
	22,10		11	22	— 0,1
80		72			
	24,3		11	22	— 2,3
91		83			

Cette vérification qui semble moins bonne au premier abord est encore satisfaisante, car les sommes des différences positives et négatives se compensent à 0μ, 3 près.

Elle a été poursuivie à 7 tours et à 11 tours de vis.

J'ai également vérifié pour différentes hauteurs de la règle P la bonne concordance des valeurs caractérisant la distance entre deux points particulièrement bien définis portés sur la tigelle en laiton.

Cette étude au microscope, malgré les imperfections d'une installation sommaire de mesure, montre que l'on peut compter largement sur la précision indiquée par les constructeurs. On peut donc considérer le condensateur comme un très bon appareil de précision moyenne.

On sait que les condensateurs plans utilisés dans des mesures de précision, surtout en électrostatique, possèdent en général un anneau de garde, afin de diminuer les irrégularités de densité sur les bords ; mais on conçoit mal l'agencement d'un tel anneau au cours de mesures relatives aux battements, et comme le dit Bedeau [14], p. 17 : « Il faudrait que l'ensemble AB faisant partie d'un circuit oscillant I, l'ensemble DB fît partie d'un second circuit II, indépendant du premier, le potentiel de D étant à chaque instant égal à celui de A » (fig. 27).

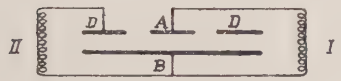


Fig. 27. — Condensateur avec anneau de garde, d'après Bedeau.

CHAPITRE V

Détermination de la constante diélectrique du quartz et de quelques autres solides

1. *Application de la méthode des battements.*

Ayant réussi à obtenir des battements inscriptibles ou audibles et aisément comparables, je me suis proposé non seulement d'en faire des applications pratiques à la séismologie ou à la géophysique appliquée, mais d'en montrer aussi l'utilisation dans des mesures de laboratoire. Ce chapitre est consacré à l'exposé d'une longue étude que j'ai effectuée sur les constantes diélectriques de cristaux ou de solides. Le quartz, substance dont toutes les propriétés physiques, mécaniques, électriques, ont été le mieux étudiées par les physiciens, m'a paru d'autant mieux désigné pour cette étude que depuis plusieurs années, surtout sous la taille piézo-électrique, il est entré dans le domaine des applications.

2. *Application directe.*

On sait que $n = \pm \frac{1}{2} N \frac{dC}{C}$

a) Une lame de quartz d'épaisseur *e* est substituée, dans le condensateur plan supposé unique d'un des circuits, à une lame d'air de même épaisseur ou de tout autre diélectrique connu.

On a : $C = \frac{KS}{4\pi e}$ $\qquad \frac{dC}{C} = \frac{dK}{K}$ $\qquad n = \pm \frac{1}{2} N \frac{dK}{K}$

n est d'autant plus grand que N est plus grand et K plus petit pour une même variation dK.

Par exemple : si $\lambda = 300$ m. $C = 0{,}002\ \mu F$ $K = 4{,}5$ ca.

$$n = \pm \frac{1}{2}\, 10^6\, \frac{dK}{4{,}5}\ ;\ \text{pour } n = 100$$

$$dK = \frac{100 \,.\, 9}{10^6} = \frac{1}{10^3}\ \text{ca.}$$

On aurait donc une unité de la troisième décimale, mais l'épaisseur de la lame devrait être très mince, comme on s'en rendra compte plus loin. D'ailleurs ce calcul est tout théorique, car dans la pratique je ne sais s'il serait possible d'obtenir des lames de quartz ayant une épaisseur rigoureusement uniforme : les miennes n'avaient pas cette qualité, comme je m'en suis assurée[1], et par suite le glissement du corps entre les deux armatures ne pouvait avoir lieu sans l'existence d'une couche d'air a au-dessus du cristal à étudier (voir Pellat, [24]).

b) On écrira donc :

$$C = \frac{S}{4\pi\left(a + \frac{e}{K}\right)} \qquad dC = -\frac{S}{4\pi} \cdot \frac{\frac{e}{K^2}\, dK}{\left(a + \frac{e}{K}\right)^2}$$

$$\frac{dC}{C} = \frac{dK}{K + \frac{a}{e} K^2}$$

Si $\frac{a}{e}$ est négligeable, on retrouve le cas précédent $\frac{dC}{C} = \frac{dK}{K}$; dans le cas contraire $n = -\frac{1}{2}\, N\, \frac{dK}{K + \frac{a}{e} K^2}$

Je suppose $e = 2$ mm., $a = 1$ mm.
pour $n = 100$, on a :

$$dK = 100 \,.\, 2\left(4{,}5 + \frac{1}{2}\,\overline{4{,}5^2}\right) . 10^{-6} = \frac{3}{10^3}$$

1. L'étude de l'épaisseur des diverses lames utilisées a été faite avec un palmer de précision. Les mesures ont porté sur de nombreux points régulièrement répartis de façon à établir une véritable topographie pour chacune des lames. L'épaisseur moyenne des meilleures ne peut être connue qu'à $\pm 1\ \mu$.

On aurait K avec une approximation de 3 unités de la troisième décimale.

Comment appliquer ces calculs théoriques à la détermination de K? L'équation dans les deux cas ci-dessus envisagés fournit un rapport entre K et dK.

Pour déterminer K directement il faudrait opérer comme suit : la formule théorique $n = \pm \frac{1}{2} N \frac{dC}{C}$ étant valable, on part d'une fréquence de battements n_1 ; le condensateur ayant une couche d'air $E = e + a$ entre ses armatures, l'introduction de la lame de quartz d'épaisseur e conduit à une capacité analogue à celle d'un condensateur à air dont la distance entre les armatures est $\left(\frac{e}{K} + a\right)$; la fréquence des battements devient n_2, telle que $n_1 - n_2 = n$.

Connaissant N et C, on déduit dC de $n = \pm \frac{1}{2} N \frac{dC}{C}$.

D'autre part, $\Delta C = \frac{S}{4\pi\left(\frac{e}{K} + a\right)} - \frac{S}{4\pi (e+a)} = \frac{S}{4\pi}\left(\frac{1}{\frac{e}{K} + a} - \frac{1}{e+a}\right)$

d'où : $\frac{1}{\frac{e}{K} + a} = \frac{4\pi\Delta C}{S} + \frac{1}{e+a} = A$

donc : $K = \frac{e}{\frac{1}{A} - a}$

Pour que cette méthode directe soit utilisable, *il faut en particulier que l'introduction de la lame de quartz fasse varier les battements d'une quantité* $n_1 - n_2 = n$ *assez petite pour que* n_1 *et* n_2 *restent dans le domaine des fréquences inscriptibles.*

On peut par un calcul rapide se rendre compte, pour une longueur d'onde donnée et une capacité connue, de la valeur de ΔC correspondant à une variation de 400 battements, par exemple. On partira de 200 bat./sec., on passera par la résonance pour atteindre de nouveau 200 bat./sec.

$$\lambda = 260 \text{ m.} \qquad C = 0{,}00078 \ \mu F.$$

$$400 = \frac{1}{2} \cdot \frac{3.10^{10}}{26000} \cdot \frac{dC}{0{,}00078 \ . \ 9.10^5}$$

$$dC = 0{,}480 \text{ u e s.} = \frac{S}{4\pi}\left(\frac{1}{\frac{e}{K} + a} - \frac{1}{e+a}\right)$$

Admettons K = 4,5 en moyenne

$$e = 0{,}2 \qquad \frac{S}{4\pi} = \frac{7{,}5 \cdot 2{,}2}{4\pi} = 1{,}313.$$

$$0{,}480 = 1{,}313 \left[\frac{1}{0{,}044 + a} - \frac{1}{0{,}2 + a}\right]$$

$$a = \frac{-0{,}244 \pm \sqrt{(0{,}244)^2 + 4 \cdot 0{,}404}}{2} = \frac{-1{,}538}{2} \text{ ou } + \frac{1{,}05}{2}$$

$e + a > 0$ donc une seule valeur possible pour a :
$a = 0$ cm. 52 $\quad e + a = 0$ cm. 72.

L'armature supérieure du condensateur de quartz devrait être très éloignée de l'armature inférieure ; or plus la distance entre les armatures est grande, plus on s'éloigne des conditions de champ constant donnant des lignes de force rectilignes, parallèles, normales aux armatures. La méthode directe ne peut donc être utilisée avec les lames de quartz qui m'ont servi dans ce travail et qui avaient l'épaisseur approximative de 0 cm. 2.

Un calcul plus complet et plus général peut être fait et traduit par un graphique ; il permet d'établir la relation entre e (épaisseur de la lame de cristal) et E = e + a (épaisseur d'air entre les armatures du condensateur plan) pour des longueurs d'ondes déterminées du circuit et pour une variation donnée des battements[1].

3. *Application indirecte. Méthode de compensation.*

Cette méthode est basée sur le fait que, pour une capacité totale $C_1 = A + \frac{S}{4\pi(e+a)} = A + \frac{S}{4\pi E}$ (l'épaisseur d'air E est représentée par la somme e + a) du circuit I, on a des battements de fréquence n_0. En introduisant la lame de quartz d'épaisseur e la capacité du système est augmentée, elle devient $A + \frac{S}{4\pi\left(\frac{e}{K} + a\right)}$. Tout se passe comme si l'épaisseur e était diminuée et devenue $\frac{e}{K}$; on compense cette augmen-

1. Voir annexe I.

tation de capacité en augmentant de x l'écart des plateaux ou l'épaisseur d'air, et l'on détermine x de telle manière qu'on retrouve la même fréquence n_0.

La capacité $C_1 = A + \frac{S}{4\pi\left(\frac{e}{K} + a + x\right)}$ est alors égale à $A + \frac{S}{4\pi(e+a)}$ d'où : $\frac{e}{K} + x = e$ $\qquad K = \frac{e}{e - x}$.

Comme il est difficile de retrouver exactement cette fréquence n_0, on construit des courbes partielles représentant

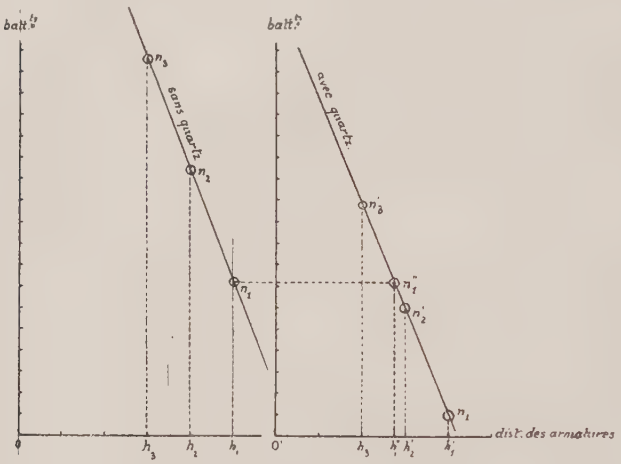


Fig. 28. — Méthode de compensation.

la variation de n en fonction de la distance entre les armatures du condensateur plan en dérivation (fig. 28).

Pour une distance entre les armatures h_1, le nombre des battements par seconde est n_1 ; pour une distance h_2, le nombre des battements est n_2. Après l'introduction de la lame de quartz, pour h'_1 le nombre des battements est n'_1 ; pour h'_2 il est n'_2. Par interpolation je détermine h''_1 qui correspond à n_1. La différence $h''_1 - h_1 = x$; je l'appellerai hauteur compensatrice.

D'après ce qu'on a vu plus haut (p. 39), il faut évidemment éviter de se placer dans la région perturbée près de la réso-

nance ; d'ailleurs quelle que soit la courbe représentative des battements, qu'elle satisfasse parfaitement ou non à la théorie, peu importe, à condition que dans les deux cas, avec lame et sans lame, on ait affaire au même phénomène de formation de battements. Ceux-ci servent alors de « repère précis » dans une méthode de zéro.

Si les abscisses représentent la distance h des armatures, les ordonnées la variation de n, la courbe obtenue sera une hyperbole ; mais dans la fraction de courbe très restreinte qui se rapporte à l'expérience, il est légitime pour l'interpolation de la confondre avec une droite.

Si les abscisses sont exprimées en unités u c s (par exemple) de capacité, les courbes représentatives de la variation de n sont alors des droites.

Cette deuxième représentation est commode lorsqu'on veut étudier le phénomène des battements en lui-même, comme on a pu s'en rendre compte dans le chapitre précédent. La première, au contraire, est pratique pour trouver K en fonction de x par la formule :

$$K = \frac{e}{e - x} \qquad (1)$$

Erreur commise. — Admettons e connu exactement, si x est déterminé à 2 μ près, la formule (1) conduit à :

$$dK = e \frac{dx}{(e - x)^2}$$

Pour $k = 4{,}5 \quad x = 0{,}156 \quad dK = \frac{0{,}2 \ . \ 0.0002}{(0{,}2 - 0{,}156)^2} = 0{,}02$

On pourrait donc connaître K avec une approximation théorique de 0,02 ; précision inférieure à celle que font prévoir les calculs précédents, mais encore acceptable si l'on se rappelle que les valeurs publiées jusqu'à présent par divers auteurs diffèrent les unes des autres de quantités plus importantes encore pour une lame parallèle. (Se reporter au tableau p. 61.)

Exemple de mesure du pouvoir inducteur spécifique du quartz par la méthode de compensation.

h = distance des armatures		Nombre de battements	
Sans quartz :	$4^t\ 00 = 800\ \mu$	174-175	
	$4^t\ 01 = 802\ \mu$	136-139	moyenne 137
Avec quartz :			
lame $\|\|_1$	$11^t\ 57 = 2314\ \mu$	153-156	
	$11^t\ 58 = 2316\ \mu$	143-140	moyenne 141

Ces résultats peuvent être portés sur un graphique. Dans le cas présent où le nombre des battements varie très rapidement avec la distance des armatures, ce graphique n'est pas nécessaire ; sans chercher le 1/10e de micron, on écrit :

$$x = 2316\ \mu - 802\ \mu = 1514\ \mu.$$

d'où :

$$K = \frac{e}{e - x} = \frac{0{,}1928}{0{,}1928 - 0{,}1514} = 4{,}65$$

4. *Méthode auditive.*

On conçoit que les méthodes décrites précédemment et basées sur l'inscription des battements offrent une grande sécurité au point de vue expérimental ; mais elles ne permettent pas de multiplier les mesures, parce qu'elles exigent beaucoup plus de temps pour l'obtention du résultat qu'une détermination auditive.

Je remarquai que malgré le couplage lâche des circuits I et II il subsistait encore une petite plage de synchronisation, et que la coupure des battements au téléphone se produisait pour une position parfaitement déterminée de la vis du condensateur de mesure ; d'où un moyen commode d'obtenir un point de repère très précis. La comparaison des mesures obtenues par les deux procédés a montré une bonne

concordance ; aussi ai-je utilisé par la suite assez fréquemment la méthode auditive.

5. *Résultats des premières mesures.*

J'ai exécuté une série de mesures sur des lames de quartz taillées parallèlement et perpendiculairement à l'axe optique, sur du verre et sur de l'ébonite. Je reproduis ci-dessous les résultats obtenus avec une lame parallèle de quartz et deux lames de verre. Les hauteurs compensatrices x correspondent aux distances E = e + a des armatures du condensateur plan lorsque l'air est le diélectrique.

Cas des armatures rectangulaires de grande épaisseur
(7 cm. 5 /2 cm. 2 /0 cm. 45)[1].

Lame de quartz $\parallel_1$ e = 1928 μ.

Eμ	Xμ	Eμ	Xμ	Eμ	Xμ	Eμ	Xμ
442	1510	1230	1522	1884	1536*	2156	1566
494	1516	1346	1522	1916	1544*	2412	1568*
534	1510	1352	1520	1920	1546*	2420	1568*
536	1515*	1557	1526	1920	1552*	2420	1576*
537	1513*	1556	1528	1960	1543*	2586	1581*
626	1508	1578	1534	1960	1556*		
660	1515*	1592	1530	1960	1554*		
932	1515*	1670	1534	2010	1552		
1060	1516	1762	1538	2024	1556*		
1112	1518*	1764	1538	2029	1551*		
1140	1514	1836	1544*	2050	1550*		
1154	1518	1840	1548*	2060	1560*		
1224	1525*	1880	1546*	2060	1554*		

1. Les nombres suivis d'un astérisque se rapportent aux expériences faites par la méthode de compensation, les autres aux expériences faites par la méthode auditive.

Lame de verre 1, e = 1215 μ.

Eμ	Xμ	Eμ	Xμ
258	1074	1394	1102
445	1074	1600	1112
638	1076	1942	1129
650	1076*	1942	1130
800	1080	2032	1138
850	1084*	2312	1156
1022	1086	2926	1202
1022	1088	2926	1204
1180	1093		
1394	1104		

Lame de verre 2, e = 1230 μ.

Eμ	Xμ	Eμ	Xμ
254	1092	840	1098
349	1089	1108	1105
480	1088	1328	1112
650	1092*	1464	1123
690	1091	2080	1149
690	1092	2080	1150
850	1102*	2540	1180

6. *Interprétation des résultats obtenus.*

L'examen des résultats précédents montre l'existence d'un palier : la hauteur compensatrice x reste constante lorsque les valeurs de E sont voisines de l'épaisseur de la lame à étudier ; ensuite, x croît.

Dans la mesure des constantes diélectriques des gaz ou des liquides le diélectrique remplit exactement l'intervalle des armatures. Dans le cas des solides, j'ai déjà signalé la très grande difficulté, voire l'impossibilité, à laquelle on se heurterait. Pellat [24] a démontré que l'on peut, dans la pratique expérimentale, appliquer la formule théorique $K = \frac{e}{e - x}$; la

méthode originale de Ferry [25] supprime la difficulté : il imagine de constituer par tâtonnements des mélanges de pétrole et d'huile de telle manière que la constante diélectrique soit la même que celle du solide en expérience ; s'il en est ainsi, l'introduction d'une lame du corps à étudier dans le liquide n'apportera aucun changement.

Je n'ai pas utilisé ce procédé, mon dispositif ne s'y prêtant pas ; mais en tout cas il m'a paru intéressant de tenter d'expliquer la variation de la hauteur compensatrice avec la distance des armatures. On trouvera dans l'annexe II une discussion sur les conditions d'application de la formule des condensateurs, dans l'annexe III une étude des influences parasites possibles, dans l'annexe IV l'interprétation des faits à l'aide de la formule de Kirchhoff et dans l'annexe V une vérification expérimentale du rôle des armatures suivant leur forme et leur épaisseur avec des rectangles ou avec des disques, du quartz ou du crown.

De ces expériences et de ces discussions résulte, conclusion importante, que dans un condensateur destiné à la mesure de la constante diélectrique des corps solides, la forme des armatures n'intervient pas tant que l'armature supérieure se trouve placée au voisinage du corps à étudier, c'est-à-dire quand le rapport de l'écartement aux dimensions linéaires des plaques est faible[1]. Cependant si les armatures ont une très petite surface, il est naturel que les lignes de force soient déformées, que l' « effet des bords » se fasse sentir et que des perturbations dans la valeur de x apparaissent aussitôt que l'écartement des plateaux augmente. Je ne crois pas que l'épaisseur même des armatures joue un rôle vraiment appréciable.

1. Il est assez difficile d'amener l'armature mobile en contact avec la lame à étudier sans qu'il y ait compression. D'autre part, il est nécessaire de surveiller la position du zéro de la vis au début de chaque expérience ; cette position peut, en effet, varier légèrement, sans doute sous l'effet de la dilatation des armatures métalliques et des supports en ébonite, malgré les précautions prises dans la construction.

7. *Valeur de la constante diélectrique du quartz et de quelques autres diélectriques solides pour* $\lambda = 260$ m.

J'ai indiqué dans les annexes les conditions dans lesquelles je me suis placée pour éviter le mieux possible les erreurs dans la détermination de K.

Le tableau ci-dessous contient les résultats que j'ai obtenus pour différentes lames de quartz. Les expériences ont été faites à la température du laboratoire ; si je ne la fais pas figurer dans les résultats, c'est que je n'ai jamais noté de variations notables avec de légers changements thermiques.

Tableau de constantes diélectriques

Nature du corps	Dimensions	Épaisseur moyenne e à $\pm$ 1μ	$\lambda = 260$ m. Hauteur compensatrice x à $\pm$ 3μ	K
A lame $\perp_1$	(rect.) 3 cm. /9 cm.	1982	1576	4,88
B lame $\perp_2$	(rect.) 3 /9	1982	1576	4,88
C lame $\parallel_1$	(rect.) 3/ 9	1928	1513	4,64
D lame $\parallel_2$	(rect.) 3 /9	1928	1513	4,64
E lame $\parallel$	(circ.) $\Phi = 5$ cm.	817	646	4,77
F lame $\parallel$	(circ.) $\Phi = 5$ cm.	988	776	4,66
G lame $\perp$	(circ.) $\Phi = 5$ cm.	1122	892	4,88

Le tableau montre que les lames perpendiculaires ont un pouvoir plus élevé (4,88) que les lames parallèles, quelles que soient leur épaisseur et leur forme. Trois lames parallèles ont un pouvoir de 4,64-4,66 et une quatrième, également parallèle, a donné le chiffre 4,77.

Il convient de comparer ces résultats et ceux des différents auteurs dont j'indiquerai très succinctement les procédés expérimentaux : Romich et Nowak [26] ont utilisé la méthode de Boltzmann [27] qui consiste à faire agir une sphère métallique électrisée sur une autre sphère taillée dans le diélectrique à étudier ; J. Curie [28] cite la valeur qu'ils

ont trouvée : K = 4,6, *sans distinction de direction dans le cristal.* Lui-même a entrepris la détermination des constantes diélectriques du quartz par un élégant procédé où un électromètre sert d'instrument de zéro et où les quantités d'électricité dues au pouvoir inducteur du diélectrique sont compensées par celles que fournit un quartz piézo-électrique soumis à l'action de poids. Il indique d'abord en moyenne K = 4,49 pour une lame parallèle à l'axe optique et K = 4,55 pour une lame perpendiculaire, différence 0,06. Mais une étude particulièrement soignée de quatre plaques taillées dans des directions différentes le conduisit à des conclusions moins simples : il trouve une bonne concordance entre les lames perpendiculaires, les lames parallèles au contraire présentent des différences. Il est conduit à émettre les hypothèses suivantes : ou bien la valeur de K ne différencie pas des lames taillées dans diverses directions, ou bien il existe trois valeurs de K caractérisant : 1° les lames perpendiculaires à l'axe optique ; 2° les lames parallèles à l'axe optique et perpendiculaires à l'axe électrique (fig. 29) ; 3° les lames parallèles à l'axe optique et à la face du prisme.

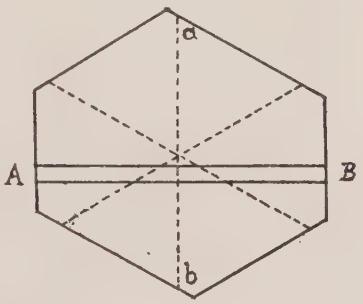


Fig. 29. — Section d'une lame piézo-électrique dans un quartz.

L'incertitude des considérations de J. Curie est peut-être la preuve que sa méthode n'était pas assez sensible pour mettre nettement en évidence les caractères « diélectriques » des diverses lames de quartz.

D'autre part, ces expériences électrostatiques sont toutes différentes des miennes. Dans un travail paru en 1897 E. Ferry [25], par une méthode dont le principe a été indiqué page 57 et où la forme et les dimensions de la substance utilisée n'interviennent pas, compare les résultats obtenus les uns par une méthode de haute fréquence (N = 30.10^6 par

seconde) et les autres par l'utilisation du pont de Wheatstone en basse fréquence (N = 20 par seconde) :

Haute fréquence $N = 30.10^6$: quartz $\perp$ 4,34, quartz $\parallel$ 4,27 ; diff. : 0,07.

Basse fréquence N = 20 : quartz $\perp$ 4,46, quartz $\parallel$ 4,38 ; diff. : 0,08.

Ces nombres sont plus faibles que ceux de Curie et de ses prédécesseurs.

En 1902 W. Schmidt [30] a utilisé la méthode de Drude, c'est-à-dire le phénomène de la résonance de deux circuits oscillants ; il a cherché aussi à éliminer les défauts de taille (parallélisme des faces, etc.) et les erreurs dans les dimensions par des comparaisons avec des liquides de constantes diélectriques bien connues. Il trouve :

Lames parallèles à l'axe optique : 4,36 et 4,32.

Lames perpendiculaires à l'axe optique : 4,60 et 4,60.

La différence atteint 0,28. Dans son mémoire il cite les résultats de H. Starke [31], qui indique pour les lames parallèles et perpendiculaires K = 4,73.

La même année que Schmidt, R. Fellinger [32] a publié un travail sur la détermination des constantes diélectriques des cristaux, d'après la méthode de Graetz et Fomm [33], basée sur les forces auxquelles est soumis un diélectrique lorsqu'il est placé dans un champ produit par des oscillations électriques. Les valeurs obtenues sont K = 4,69 pour des lames parallèles à l'axe optique, K = 5,05 pour des lames perpendiculaires (différence : 0,36).

Thornton [34] en 1909, à l'aide d'un dispositif analogue à celui de Botzmann, a trouvé K = 4,55 pour des lames parallèles à l'axe et K = 4,60 pour des lames taillées perpendiculairement[1] (différence : 0,05).

1. J'indique pour mémoire que plus récemment, en 1924, Gagnebin [35] et, en 1926, A. Dieterich [36] ont fait des recherches sur la variation de la constante diélectrique du quartz en fonction de la température. Je n'ai eu connaissance d'aucune mesure absolue entreprise sur le quartz.

Tous ces résultats sont résumés dans le tableau suivant :

Méthode électrostatique.

Auteur :	Romich et Nowak	J. Curie	Starke
Date :	1874	1889	1897
Quartz ∥ :	4,60	4,49	4,73
Quartz ⊥ :	4,60	4,55	4,73
Différence δ :	0,0	0,06	0,0

Méthode électromagnétique.

Auteur :	Ferry		Schmidt	Fellinger	Thornton	A. Hée
Date :	1897		1902	1902	1909	1933
Fréquence :	30.10^6	20	4.10^8	60 (?)	85	$1{,}1538.10^6$
Quartz ∥ :	4,27	4,38	4,32	4,69	4,55	4,64* | 4,77
Quartz ⊥ :	4,34	4,46	4,60	5,05	4,60	4,88
Différence δ :	0,07	0,08	0,28	0,36	0,05	0,24 | 0,11

* Lame piézo-électrique.

On voit que par les méthodes électrostatiques, mis à part les résultats de Curie, les auteurs n'ont pu différencier les quartz taillés perpendiculairement à l'axe de ceux taillés parallèlement. Au contraire les méthodes d'oscillations électriques ont nettement mis en évidence les différences en rapport avec la taille des cristaux. Par ailleurs, ayant constaté des divergences entre mes résultats et ceux d'autres auteurs, j'ai cru utile de procéder à toutes les vérifications dont l'exposé fait l'objet des annexes.

Si j'ai réussi à éviter ou diminuer les causes d'erreurs sur lesquelles j'ai moi-même appelé l'attention dans la méthode des battements dont j'ai fait une critique aussi serrée que je l'ai pu, j'indique mes résultats comme *correspondant à des conditions expérimentales nettement définies* et pour une longueur d'onde parfaitement déterminée, $\lambda = 260$ m.

Les valeurs que j'ai obtenues sont en général plus fortes que celles indiquées par mes prédécesseurs ; je dois cepen-

dant signaler la bonne concordance, pour les lames parallèles, de mes résultats avec la valeur donnée par Fellinger [32] ; par contre, pour les lames perpendiculaires, la valeur que je présente — K = 4,88 — est intermédiaire entre celle, 4,60, indiquée par divers auteurs et celle de 5,05 trouvée par Fellinger.

L'examen du tableau montre la coïncidence parfaite entre les lames A et B d'une part et C et D d'autre part. M. Jobin avait envoyé les deux lames C et D à l'Institut en 1923 et, quelques années plus tard, les lames A et B ; il m'a affirmé que C et D, vu les exigences de la fabrication, avaient été taillées dans un même bloc et que A et B provenaient également d'un même cristal. Ce fait a une certaine importance, car il prouve la fidélité de la méthode qui fournit un même chiffre pour un même bloc de quartz. En outre, il est acquis qu'il existe une différence entre les lames A et B perpendiculaires et les lames parallèles C et D.

Les lames E, F, G ont été taillées dans un cristal encore différent, très beau bloc fourni à l'Institut par M. Jobin. *Il est remarquable de trouver pour la lame G perpendiculaire exactement la même valeur, 4,88,* que pour les lames précédentes de même nature, mais d'épaisseur presque double, issues d'un autre cristal et rectangulaires, tandis que la dernière a la forme circulaire ; j'ai à peine besoin d'ajouter que les armatures du condensateur étaient en forme de rectangle pour A et B et circulaires pour G. Ce résultat est nettement en faveur de la précision de mes mesures.

La lame E, parallèle à l'axe cristallographique et taillée parallèlement à un axe électrique, donne 4,77, valeur différente des précédentes ; par contre, la lame piézo-électrique F redonne 4,66, nombre identique à celui des lames C et D. Or j'ai appris, quand mes mesures étaient déjà faites, que ces lames avaient été taillées comme quartz piézo-électriques ; des expériences dont je parlerai dans le chapitre suivant me l'avaient fait pressentir. Dans ce cas encore, il y a parfaite coïncidence entre les lames C, D et F taillées de la même manière.

Je suis donc amenée aux conclusions suivantes :

1° Il y aurait bien trois constantes diélectriques pour le quartz, comme l'avait entrevu Curie, sans pouvoir le préciser, caractérisant : *a)* les lames perpendiculaires ; *b)* les lames taillées à la fois parallèlement à un axe optique et un axe électrique ; *c)* les lames piézo-électriques.

2° Ces constantes seraient bien les caractéristiques du quartz, c'est-à-dire qu'elles ne varieraient pas d'un échantillon à l'autre.

Pour que ces faits puissent être généralisés, énoncés sous forme de lois, il faudrait opérer sur un plus grand nombre de lames. Ce serait d'autant plus intéressant qu'il y aurait là une différence entre le pouvoir inducteur spécifique du quartz et la constante piézo-électrique, car cette dernière est très variable avec la nature du cristal.

L'examen optique des lames, exécuté au laboratoire de Minéralogie[1], a prouvé qu'elles proviennent toutes de beaux cristaux de quartz et que leur taille est bonne.

On a relevé les particularités suivantes :

Les lames parallèles C et D ont été taillées dans un quartz gauche, tandis que les disques E, F, G sont pris dans un quartz droit.

Les lames perpendiculaires A et B contiennent sur les bords quelques macles peu importantes.

A titre de renseignement, j'indiquerai les chiffres obtenus pour les lames de verre.

	Épaisseur moyenne en μ	Hauteur compensatrice en μ	K
Lame 1 (crown) $\Phi = 5$ cm.	933 ± 1	804	7,23
Lame 2 (flint) $\Phi = 5$ cm.	932 ± 1	862	13,3
Lame verre 1 3/9 cm.	1215	1076	8,73
Lame verre 2 3/9 cm.	1230	1089	8,72

1. Je remercie M. de Lapparent, directeur du laboratoire, et M. Weil, qui m'a prêté son aimable concours.

Dans la table des constantes physiques, on indique : verre ordinaire, 7,6 ; 6,2 ; 3,7.

Le verre n'étant pas un corps bien défini, je n'insiste pas sur les valeurs.

Avec l'ébonite, j'ai trouvé les résultats correspondants suivants : 3050, 2121, 3,28.

Pellat [29] donne 3,128 et 3,154 ; plus tard, dans une autre étude [37], il indique 2,958.

Il est vraisemblable que les divergences proviennent, tant pour le verre que pour l'ébonite, du fait que ces corps sont des mélanges et que la constante diélectrique varie beaucoup avec la composition.

De nombreux auteurs, en particulier Jezewski [38], qui ont employé la méthode de la résonance de deux circuits oscillants, ont appelé l'attention sur l'importance du rôle de la résistivité quand elle n'est pas très grande[1]. Or les résistivités du quartz, de l'ébonite et du verre ont des valeurs telles qu'on ne saurait, à mon avis, trouver là l'explication des valeurs élevées auxquelles m'ont conduite mes mesures.

1. Résistivité à 20° ou à la température ambiante :

Quartz taillé parallèlement à l'axe : ∞, d'après Curie [39].
Quartz taillé perpendiculairement à l'axe : 10^{23} u e m (Curie).
Ébonite : 2 à 3.10^{24} u e m
Verre ordinaire : 9.10^{22} u e m
Verre de Bohême : 6.10^{21} u e m
} Table des constantes physiques.

CHAPITRE VI

Utilisation de la méthode des battements en séismologie

1. *Séismographes ou séismoscopes fondés sur les oscillations électriques.*

On a vu au début de ce travail que, dans ces dernières années, on s'est préoccupé de réaliser des séismographes basés sur la sensibilité des circuits oscillants aux variations de capacité.

Auteur au cours de 1916 du condensateur microphone (voir p. 5), E. Rothé [40] avait encore proposé en 1923 une méthode qui en dérive pour déterminer d'une façon précise les vitesses des ondes. Dans diverses stations on installerait un séismographe dont la masse serait solidaire d'une des armatures du condensateur-microphone, la seconde restant fixe. La self du circuit serait couplée avec une bobine faisant partie d'un circuit d'antenne d'émission. En une station on établirait un poste récepteur avec téléphone inscripteur. Le passage de l'onde élastique transmise par le sol modifiant en chaque station la capacité du circuit émetteur, l'onde électrique captée à la réception produit une modification d'intensité, d'où l'inscription de son passage aux différentes stations émettrices. La précision obtenue serait très grande, toute inertie étant supprimée puisqu'il n'y a pas d'intermédiaire mécanique en dehors de l'inscripteur lui-même qui sert d'appareil récepteur.

Je citerai le dispositif réalisé en 1926 par P. Duckert [41] et fondé sur le même principe. L'année suivante, J. Obata [42] utilisait un pendule qui appuyait plus ou moins sur la lame d'un condensateur microphone dont les variations de capa-

cité étaient décelées par un galvanomètre à corde ou par un oscillographe suivant les fréquences envisagées.

Enfin, en 1931, S. Haeno [43] donnait la description détaillée d'un radio-séismographe accompagné d'inscriptions intéressantes. Le principe est toujours le même : il consiste à moduler le courant de haute fréquence sous l'action des mouvements du sol. A cet effet, le dispositif comprend :

1° Un transmetteur composé d'un pendule et d'un premier circuit oscillant ;

2° Un récepteur formé d'un deuxième circuit oscillant et d'un amplificateur ;

3° Un inscripteur constitué par un oscillographe et une chambre photographique.

Sous l'action des mouvements du pendule, la capacité du premier circuit est modifiée ainsi que sa fréquence. Il en résulte une variation d'intensité que l'oscillographe enregistre. L'auteur étudie la variation d'intensité du courant plaque de la lampe détectrice en fonction de la capacité du condensateur relié au pendule. L'appareil est réglé de façon à fonctionner dans la région correspondant à la partie rectiligne de la courbe. Comme, d'autre part, le changement de capacité est directement proportionnel au déplacement du pendule, il en résulte que les changements de courant sont eux-mêmes en rapport direct avec le déplacement du pendule par rapport au sol.

Ainsi que je l'ai dit au début de ce travail, mon but était autre ; je cherchais à réaliser un appareil donnant automatiquement, avec une grande précision et par sa propre inscription, l'époque du premier impétus d'une onde transmise par le sol. Comme le séismo-microphone créé par Ambronn [11] qui est parvenu, par l'artifice d'un changement de sensibilité, à inscrire les impétus de différentes phases, le dispositif que j'ai finalement réalisé est un séismoscope de précision plutôt qu'un séismographe. S'il permet de reconnaître divers impétus, il n'inscrit pas la forme du mouvement.

2. *Conditions à réaliser.*

Si j'ai insisté dans le chapitre II sur toutes les précautions indispensables à la stabilité du dispositif générateur de battements, en vue de mesures précises, c'est qu'elles sont également utiles ici, bien qu'au premier abord il semble que le séismoscope soit fondé sur une instabilité. Il suffit qu'une partie déterminée de l'appareil soit rendue mobile, tout le reste étant, au contraire, soustrait à l'action du mouvement transmis par le sol. La modification nécessaire consiste à rendre l'un des circuits I ou II variable sous l'influence des ondes séismiques.

3. *Première méthode. Déplacement du diélectrique.*

Un des circuits peut être rendu variable par l'introduction plus ou moins grande d'un diélectrique entre les armatures fixes du condensateur.

Il suffit d'attacher une lame diélectrique à l'extrémité d'un levier, amplificateur ou non, en relation avec la masse inerte d'un séismographe : elle subit ainsi les mouvements du sol et, par une installation convenable, pénètre plus ou moins profondément entre les armatures du condensateur de mesure, y provoque un changement de capacité et, par suite, une variation du nombre des battements. Suivant la disposition du système, on pourra étudier les perturbations horizontales ou verticales du sol.

A titre d'exemple, je me suis proposé de déterminer quelle variation du nombre des battements produisait la lame de quartz D (9 cm. /3 cm. /0,2 ca.) pour un déplacement longitudinal de 100 μ entre les plateaux du condensateur plan, l'expérience étant faite dans les mêmes conditions que précédemment avec $\lambda = 260$ m.

La lame cristalline était fixée à l'extrémité de la pointe mobile d'un sphéromètre permettant de faire les lectures au 1 /20^{e} de millimètre.

Le sphéromètre porte la lame de quartz D, e = 1928 μ, E (distance entre les armatures) = 2344 μ.

1° Lorsque la lame pénètre dans le condensateur dans le sens de la largeur, la variation moyenne du nombre de battements est de 10 pour 50 μ.

2° E = 2380 μ. Lorsque la lame pénètre dans le sens de la longueur, un déplacement de 50 μ correspond à une variation de 20 battements.

Si la lame est portée par un séismographe de grandissement 200, on pourra déceler sans difficulté une perturbation de l'ordre de 0 μ, 2, comme avec un appareil à très grande masse.

Dans les explosions comme celle de la Courtine, l'amplitude à 24 km. variait entre 0 μ, 1 et 0 μ, 3 ; dans l'explosion d'Hagondange, à 5 km., M. Lacoste a noté 8 μ [44].

Un appareil fondé sur cette première méthode pourrait ainsi servir à des études d'explosions.

La sensibilité peut du reste être accrue de diverses manières faciles à réaliser :

1° Les armatures du condensateur plan peuvent être rapprochées au maximum, soit 2000 μ ; dans ce cas, E excéderait encore légèrement l'épaisseur de la lame cristalline qui pourrait ainsi se déplacer sans frottement entre les plateaux métalliques.

2° Au lieu d'une lame de quartz (que j'ai utilisée parce qu'elle m'avait servi ailleurs), on pourrait prendre un corps de constante diélectrique plus élevée, même imparfaitement connue.

3° On pourrait augmenter le couplage des circuits (voir étude des battements), la variation du nombre des battements en fonction de la variation de la capacité devenant alors notablement plus grande.

4° Les longueurs d'onde des circuits pourraient être réduites (voir étude de la relation entre e et E).

4. *Deuxième méthode. Déplacement d'une armature. Premiers essais.*

Des essais préliminaires ont été faits en provoquant l'instabilité de l'armature inférieure du condensateur plan du circuit I. Au lieu d'être fixe et solidaire du socle d'ébonite, elle fut mise à dessein en rapport avec la table par l'intermédiaire d'une planchette de bois. Dans ces conditions, on pouvait enregistrer très facilement un léger choc donné avec le doigt sur la table, ou la chute d'une bille d'acier (1 gr. 5) tombant d'une hauteur de 70 cm., ou encore la vibration causée par un pendule de 50 gr. qui venait frapper la table au cours de ses oscillations.

L'appareil étant placé au rez-de-chaussée, on inscrivait très aisément la chute sur le sol, à l'extérieur du bâtiment et à une distance de 3 mètres environ, d'un poids de 50 kg. tombant d'une hauteur de 50 cm.

Ces premières expériences avaient pour but de montrer la possibilité de l'application, et il n'était nécessaire que d'atteindre une sensibilité suffisante avec un montage simple, capable de vibrer tout en conservant une position d'équilibre fixe.

Autres expériences. — Dans un deuxième montage, les circuits I et III restèrent identiques à ce qu'ils étaient au moment des mesures de constantes diélectriques ; en particulier, je maintins dans le circuit I le condensateur de mesure dont l'étalonnage était bien connu, afin d'obtenir aisément des battements d'une hauteur convenable et en rapport avec le degré cherché de précision du temps. Le circuit II devait traduire par ses variations de fréquence les mouvements du sol. La partie réagissant aux perturbations pouvait être soit la self, soit la capacité. Il semblait plus facile de s'adresser à cette dernière ; aussi ai-je rendu variable une partie de la capacité du circuit II, et c'est cette partie qui constituera l'organe séismographique.

5. *Description du « séismo-condensateur ».*

Au point de vue mécanique, il fallait que ce condensateur destiné à détecter les mouvements du sol fût constitué comme un séismographe. Il suffisait pour résoudre la question de mettre une masse inerte en liaison avec une partie élastique.

Le dispositif réalisé comprend une masse de fonte pesant 8 kg. Deux montants fixes et rigides sont adaptés sur cette

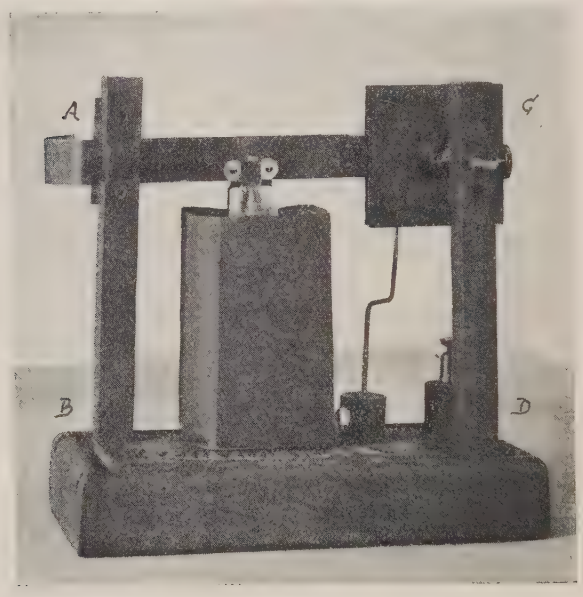


Fig. 30. — Séismo-condensateur.

masse. Sur l'un d'eux, AB, est fixée une lame élastique. Une des armatures de cuivre est placée par l'intermédiaire d'une substance isolante à l'extrémité de la tige vibrante. La deuxième armature isolée est soutenue par le support CD. La distance des armatures est réglable à volonté et le parallélisme des plateaux est assuré par un genou de fixation analogue à ceux qui sont utilisés pour orienter sur leur pied les appareils photographiques, mais de dimensions plus réduites (fig. 30). L'ensemble est disposé de telle manière que les

mouvements horizontaux agissent sur l'appareil. Pour avoir un dispositif sensible aux mouvements verticaux, il suffirait de placer lame et plateaux à 90° de leur première position.

Les armatures sont formées de plaques de cuivre carrées de 8 cm. de côté. J'ai indiqué (p. 34) que, les circuits ayant une longueur d'onde au voisinage de $\lambda = 260$ m., une variation de capacité $\Delta C = 0{,}1$ u e s se traduisait par une variation de 80 battements par seconde. Or

$$C = \frac{S}{4\pi E} = \frac{8 \cdot 8}{4\pi E}$$

Si l'on veut qu'un déplacement de 1 μ de l'armature mobile corresponde à une variation de 80 battements, il faut :

$$0{,}1 = \frac{64}{4\pi E^2} \cdot 0{,}0001$$

d'où :

$$E = \sqrt{\frac{64}{4\pi} \cdot 10^{-3}} = 0 \text{ cm. } 07.$$

Mais pour 1 μ, la variation de 80 batt./sec. représente une sensibilité considérable ; on peut la réduire en donnant à E une valeur plus élevée. En tout cas, *le grandissement mécanique n'est pas nécessaire.*

Le condensateur sensible était ordinairement posé sur un socle en ciment enfoncé dans le sol. La liaison électrique avec les circuits installés dans le bâtiment voisin était assurée par des fils conducteurs fixés sur des potences en porcelaine et suffisamment tendus pour ne pas être déplacés sous l'effet du vent. Avec un tel arrangement, la capacité de ces fils extérieurs restait toujours la même. Le « séismo-condensateur » était lui-même mis à l'abri des déplacements d'air par une caisse protectrice.

6. *Étude de différentes lames.*

L'appareil ainsi établi en « séismo-condensateur » vibrait avec sa période propre ; il se prêtait à l'étude des périodes.

Pour une surface donnée des plateaux du condensateur,

l'étude de la vibration devait porter sur les dimensions et la nature des lames vibrantes. J'ai utilisé :

Lame I : acier (scie à métaux), largeur = 15 mm., épaisseur = 0 mm. 9.

Lame II : acier (scie à métaux), largeur = 24 mm., épaisseur = 1 mm.

Lame III : ressort plat d'acier, largeur = 25 mm., épaisseur = 0 mm. 9.

Lame IV : ébonite, largeur = 24 mm., épaisseur = 3 mm. 1.

Longueur commune de ces lames : 13 cm.

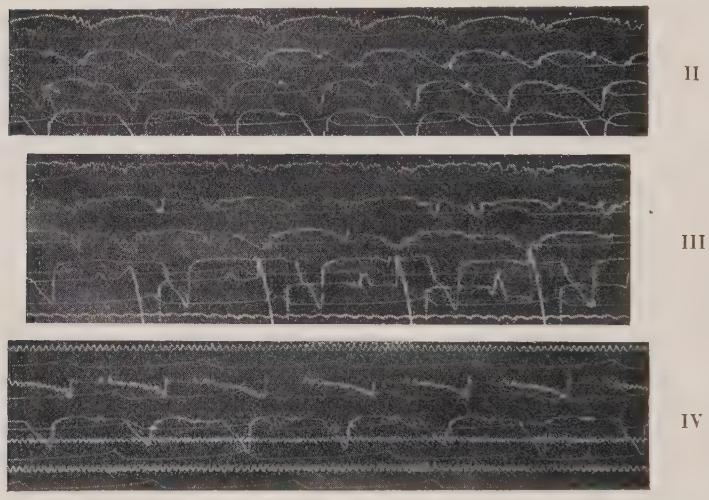


Fig. 31. — Périodes des diverses lames.

Pendant les mesures de période des lames, le condensateur supplémentaire n'était pas sur le socle de ciment mais sur une table dans la salle d'expérience. Les quatre lames portèrent successivement l'armature mobile. Des battements furent inscrits avec chacune d'elles au repos et en vibration. On trouvera ci-dessus (fig. 31) des fragments d'inscription reproduits photographiquement.

Il est très facile de compter la période correspondant à

chaque lame, les cinquièmes de seconde étant inscrits par la plume d'un jacquet. Si les oscillations sont trop fortes, les armatures viennent en contact et la capacité devient infinie dans II, les battements cessent momentanément d'exister ; d'où les formes parfois étranges que l'on remarque sur les reproductions. Même pour de moins fortes oscillations, il existe encore des ondulations causées par des modifications de l'intensité moyenne dans l'oscillographe. Ces modifications résultent des grandes variations dans le nombre des battements.

Lorsque la lame III de période 1/5 sec. ne vibre point ou ne vibre que très légèrement avec sa période propre, la courbe des battements accuse une période secondaire $T = \frac{1}{46}$ sec. ca., parasite causé par le cylindre enregistreur placé ici dans la même pièce ; cette perturbation est analogue à celle que j'ai signalée (chapitre II, p. 23).

La période de l'ébonite est $T = \frac{1}{6,8}$ sec. et celle de la lame II $\frac{1}{7,5}$ sec.

Si l'on examine les inscriptions faites avec les lames au repos on constate que seule l'ébonite donne un nombre constant de battements par unité de temps. Cette lame est moins sensible que les autres, mais, ayant constaté néanmoins qu'un léger choc sur la table se manifestait nettement par une irrégularité des battements rapidement suivie par le rétablissement de la position d'équilibre, j'ai d'abord cru cette lame propice à la construction du séismo-condensateur. Mon attente fut déçue, car, installé extérieurement sur le socle en ciment, l'appareil n'accusa qu'une très faible sensibilité ; je ne pus enregistrer que des chutes de poids à courte distance. Toutefois, un examen attentif de l'inscription montre que la lame vibre faiblement, mais continuellement, avec sa période propre.

La nécessité d'amortir, comme dans tout séismographe, et à laquelle il était naturel de s'attendre, apparaissait d'une manière évidente.

7. *Amortissement.*

Afin de pouvoir faire varier à volonté l'amortissement, j'ai réalisé un amortisseur interchangeable avec une lame d'aluminium de 4 cm. /6 cm., fixée sur une forte pince (pince à films) et plongée dans de l'huile de vaseline.

Un tel amortissement suffit pour l'ébonite : la lame IV qui, à la suite d'une impulsion, exécutait une cinquantaine de vibrations, n'en effectuait plus que quelques-unes, deux au plus si l'ébranlement n'était pas trop violent (fig. 32).

Fig. 32. — Amortissement de la lame IV.

Par contre la lame I n'était pas assez amortie, bien qu'on pût cependant obtenir des battements presque réguliers en la laissant revenir à l'équilibre (fig. 33).

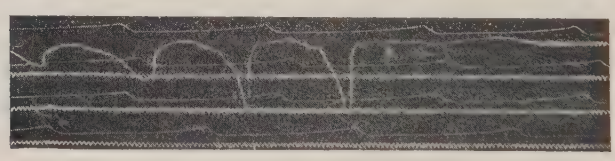


Fig. 33. — Amortissement de la lame I.

Un amortissement plus fort (lame d'aluminium de 6 cm. /6 cm. dans de l'huile épaisse « Delco », plus lourde que la précédente) convient aux lames d'acier, à la lame III notamment qui, malgré sa grande mobilité et sa facile réaction à de petites perturbations, fournit grâce à l'amortissement une inscription de battements réguliers. Dans l'inscription on compte d'abord 157 bat. /sec., 52 secondes plus

tard il y en a 155, et 75 secondes après la première lecture on en dénombre 157.

Malgré l'importance de l'amortissement, la lame conservait sous de faibles impulsions une sensibilité suffisante, car, installé à nouveau dans la pièce où avaient eu lieu les inscriptions, le « séismo-condensateur » inscrivit un mouvement périodique de 1/46 sec. qui masqua la période propre de la lame (1/5 sec.).

De faciles vérifications au compte-tours ont prouvé que la période $T = \frac{1}{46}$ sec. était due au moteur d'entraînement du cylindre enregistreur (46,2 tours par seconde). Si le cylindre était tourné à la main, l'inscription changeait d'aspect et ne présentait plus cette périodicité.

Ainsi, grâce à cet amortissement, c'est bien la période du mouvement du sol que le « séismo-condensateur » inscrit, et on réalise la condition imposée à tout bon séismographe.

Ci-dessous se trouvent une inscription faite avec la lame III et le deuxième amortissement, ainsi qu'une portion de la courbe obtenue sans système amortisseur (fig. 34).

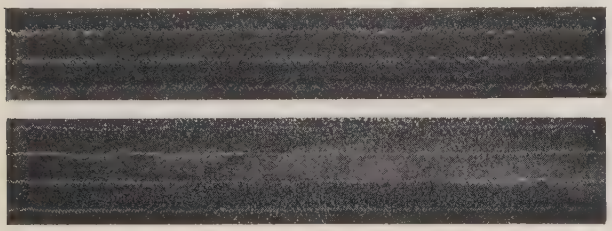


Fig. 34. — Inscriptions, lame III { *a* avec amortissement; *b* sans amortissement.

8. *Agitation microséismique.*

Un appareil aussi sensible devait être influencé par l'agitation microséismique.

Parmi les divers mouvements du sol susceptibles d'être inscrits, il y a lieu de distinguer :

1° L'agitation microséismique étudiée ordinairement dans

les observatoires, de période moyenne T = 5 s. et d'amplitude moyenne 2 μ.

2° Le mouvement de période T = 0,5 s. environ et d'amplitude 1/4 à 1/2 μ, que l'on distingue nettement sur les inscriptions du séismographe Mintrop (fig. 35) ; ce mouvement ne peut être attribué uniquement à la période propre de l'appareil, car il se retrouve sur les inscriptions du grand pendule de 19 tonnes (T de l'appareil = 2 s.), et même sur celles du pendule Wiechert examinées à la loupe (T de l'appareil = 8 à 9 s.).

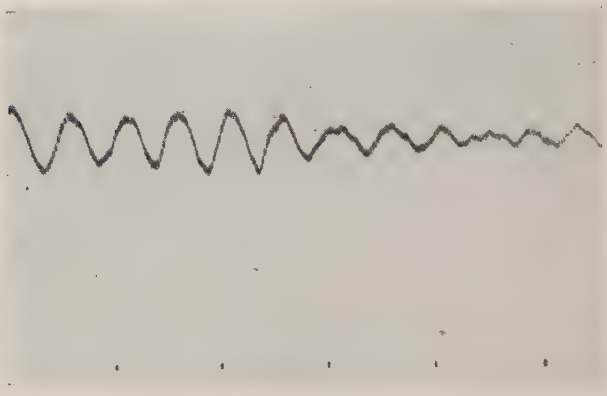


Fig. 35. — Inscription de l'appareil Mintrop.

3° Le mouvement dont la fréquence est de l'ordre de 43 à 50 à Strasbourg, mais qui varie suivant la localité [25 à Aubusson et Nancy ; 32 et 37 à Rosheim (Bas-Rhin)].

On conçoit que la mise en évidence des périodes T = 0,02 et T = 0,5 ne soit pas aisée avec mon dispositif, car la courbe normalement inscrite n'est pas une ligne droite ; elle présente déjà des sinusoïdes de fréquence déterminée. Aussi n'ai-je pu constater ces mouvements qui devraient affecter selon leur période la régularité des battements. Par contre, les inscriptions présentent une perturbation périodique T = 1/6 voisine de la période propre de la lame.

J'ai exécuté dans diverses conditions des inscriptions dont je reproduis quelques fragments (fig. 36) :

I. Lames du condensateur très rapprochées, grande vitesse du cylindre enregistreur.

II. Lames du condensateur très rapprochées, petite vitesse du cylindre enregistreur [longueur réelle $1^s = 1$ cm. 6].

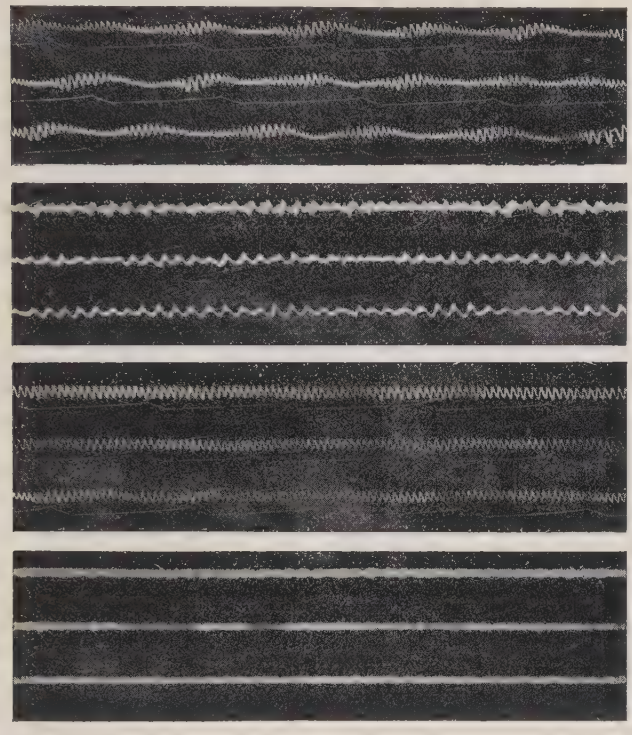


Fig. 36. — Comparaison des courbes obtenues avec différentes sensibilités et différentes vitesses.

III. Lames du condensateur éloignées, grande vitesse du cylindre enregistreur.

IV. Lames du condensateur éloignées, petite vitesse du cylindre enregistreur.

J'ai prouvé (p. 75) que la lame, avec un amortissement suffisant, vibrait bien avec la période du mouvement qui

provoque ses oscillations. Pour confirmer le fait, j'ai employé une huile encore plus lourde que l'huile « Delco » sans que les inscriptions aient changé d'allure.

Faut-il conclure qu'il existerait à Strasbourg un mouvement de période T = 0 s. 16, très faible, puisqu'il n'est véritablement apparent que lorsque le séismo-condensateur fonctionne à grande sensibilité (voir courbes I et II ci-dessus)? Je n'ai retrouvé une agitation de semblable fréquence que sur des inscriptions faites avec le séismographe Mintrop dans la région de Nancy.

Quant à l'agitation correspondant à T = 5 s., amplitude = 2 μ environ, il semble que les sortes de nœuds de vibration visibles sur l'inscription II sont dus à son influence. Je n'ai pu cependant établir une concordance absolue entre l'agitation microséismique inscrite par les appareils Wiechert et l'apparition de ces nœuds.

Les fortes agitations microséismiques semblent donner une inscription caractéristique, ainsi celle du 7 décembre 1932 (fig. 37).

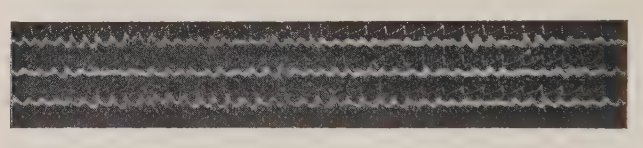


Fig. 37. — Agitation microséismique.

9. *Inscription de perturbations diverses.*

En cherchant à établir la correspondance entre les inscriptions faites à petite vitesse et l'agitation microséismique enregistrée par le séismographe de 19 tonnes, j'ai inscrit par hasard deux petites perturbations d'origine inconnue qui figurent aussi sur les feuilles du séismographe. Je les reproduis ci-après (fig. 38) à titre de comparaison. Elles prouvent que la sensibilité du séismo-condensateur est au moins égale à celle des séismographes de très grande masse les plus sensibles.

J'ai même, à diverses reprises, lorsque tout était calme au

voisinage immédiat, obtenu l'inscription de faibles mouvements qui n'ont eu d'influence sur aucun des autres séismographes de la station. Lors de la fête nationale, j'ai pu enre-

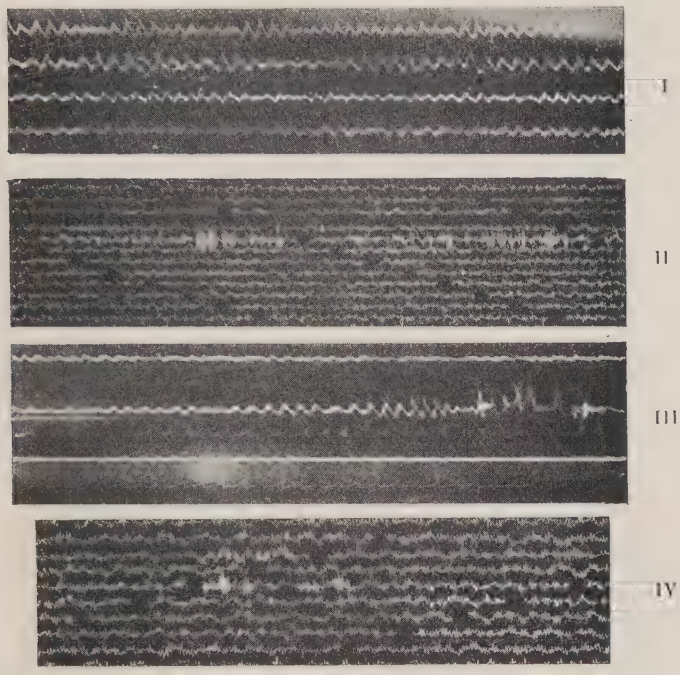


Fig. 38. — Perturbations sur le séismo-condensateur et l'appareil de 19 tonnes.

I. Séismo-condensateur
II. Appareil de 19 tonnes N. S. } 12 décembre 1932, 9 h. 44 m. 27 s.

III. Séismo-condensateur
IV. Appareil de 19 tonnes N. S. } 23 novembre 1932, 12 h. 01 m. 57 s.

(Les inscriptions du séismo-condensateur se lisent de droite à gauche et de bas en haut, celles de l'appareil de 19 tonnes se lisent de gauche à droite et de haut en bas.)

gistrer les ébranlements causés par les canons tirant des salves à environ 600 mètres de la station séismologique. L'appareil avait été cependant recouvert non seulement de la caisse protectrice habituelle, mais encore de lourdes étoffes pour empêcher l'action de l'onde sonore. Ces coups de canon

ont été également enregistrés par le grand pendule, mais faiblement (fig. 39).

10. *Inscription de chutes de poids.*

J'ai d'abord inscrit la perturbation produite par la chute

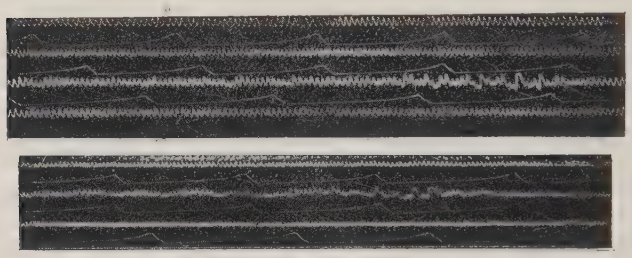


Fig. 39. — Coups de canon.

d'un poids de 5 kg. tombant de 2 mètres de haut à des distances de 5 et de 10 mètres du séismo-condensateur (fig. 40).

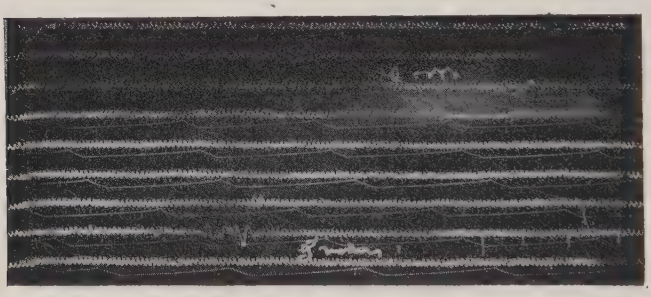


Fig. 40. — Chutes de poids.

Par la suite, l'arrivée du poids au sol fut signalée suivant la méthode habituelle par une plume que commande un électro-aimant. Un poids de 50 kg., tombant d'une hauteur de 2 mètres à une distance de 42 mètres, a donné de bons résultats (fig. 41). Le poids tombait sur un treillis métallique qui établissait le contact électrique, mais causait un amortissement.

J'ai pu aussi à diverses reprises inscrire la chute d'un poids

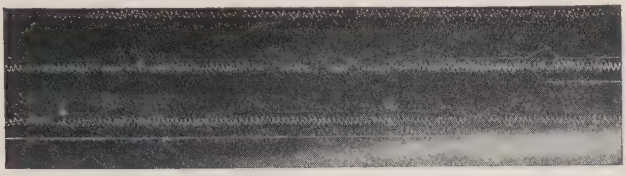


Fig. 41. — Chute de poids.

de 50 kg. dans les mêmes conditions que précédemment, mais à une distance de 90 m. 80 (fig. 42).

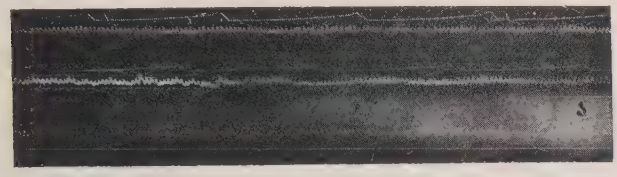


Fig. 42. — Chute de poids.

L'arrivée au sol était indiquée par la rupture d'un fil dans le circuit. L'instant où les battements commencent à être perturbés est parfois délicat à saisir. Il est nécessaire de « concilier » l'augmentation de sensibilité de l'appareil avec l'obtention d'une division très régulière du temps. Plus l'appareil est sensible, plus il est exposé à subir des perturbations parasites qui troublent les battements, telle la période de 0 s. 16 sur laquelle j'ai appelé l'attention.

CHAPITRE VII

Usage du quartz piézo-électrique en géophysique appliquée

1. *Historique.*

En 1918, Galitzine [45] songea le premier à utiliser les propriétés piézo-électriques du quartz pour réaliser un accéléromètre. Dans son appareil, une masse suspendue à un ressort s'appuyait sur une lame de quartz avec une pression déterminée par l'angle d'inclinaison du pendule et variable avec lui. Les faces de la lame de quartz étaient recouvertes d'une mince couche métallique et servaient d'électrodes. L'une était reliée à la terre, l'autre à un galvanomètre à corde qui déviait plus ou moins suivant la quantité d'électricité dégagée. Celle-ci était fonction de la pression exercée par la masse du pendule sur la lame de quartz.

En 1921, Wood [46] reprenait cette idée et l'appliquait au sel de Rochelle ou sel de Seignette (tartrate double de potassium et de sodium). Son accéléromètre est analogue à celui de Galitzine ; il comprend : 1° une masse inerte de 35 kg. déplacée légèrement de sa position naturelle d'équilibre ; 2° une lame piézo-électrique en relation avec la masse inerte et soutenue par un arc-boutant dont le rôle a été particulièrement étudié par l'auteur.

Pour détecter et enregistrer les vibrations qui produisent dans ce dispositif des différences de potentiel, on utilise soit un électromètre à corde, soit la grille d'une lampe. Wood termine sa très intéressante étude en préconisant le retour à l'utilisation du quartz.

En 1930, Kato et Nakamura [47] ont construit un appareil du même genre. Ils utilisent un pendule de 10346 kg. reposant sur des piliers ; entre la masse et les supports sont disposées des plaques de quartz piézo-électriques, dont le potentiel est amplifié par des lampes. L'enregistrement est fait photogra-

phiquement à l'aide d'un galvanomètre à corde d'Edelman. Le grandissement est plus élevé que celui obtenu par Wood. Cet accéléromètre est destiné à déterminer avec un certain degré de précision la vitesse des ondes élastiques provoquées artificiellement.

2. *Usage d'une lame piézo-électrique dans le dispositif des battements.*

Au cours de mes mesures de constante diélectrique j'avais été frappée par le fait que la lame parallèle C donnait, pour des longueurs d'onde différentes de la valeur de 260 m., qui m'a servi généralement dans les expériences relatées au chapitre v, des valeurs de la constante diélectrique autres que 4,64. J'ai voulu reprendre systématiquement les mesures en utilisant le champ de longueurs d'onde qu'il était possible d'atteindre dans mon dispositif en faisant varier uniquement les capacités des trois circuits.

En m'appuyant sur la formule $K = \frac{e}{e - x}$, je pouvais suivre les variations de x en fonction des longueurs d'onde utilisées, comme l'indique le tableau ci-dessous :

Nature du diélectrique	$\lambda = 300$ m. $X\mu$	$\lambda = 260$ m. $X\mu$	$\lambda = 220$ m. $X\mu$
Lames A $\perp$; B $\perp$	1576	1576	1575
Lames C $\parallel$; D $\parallel$	1574	1513	1596
Lame verre$_1$	1079	1076	1082
Lame verre$_2$	1093	1089	1095

Il apparaît d'une manière évidente que la hauteur compensatrice x des lames parallèles C et D varie nettement en fonction de la longueur d'onde, tandis que les autres lames présentent une constance remarquable. *Toute lame douée de propriétés piézo-électriques peut se comporter d'une manière spéciale au point de vue de la constante diélectrique ;* conclusion à laquelle il fallait s'attendre, la piézo-électricité étant,

en effet, une propriété électrique spécifique du quartz taillé de façon particulière.

3. *Variation de la hauteur compensatrice* x *des lames parallèles avec la longueur d'onde.*

Les deux lames C et D étant de mêmes dimensions et se comportant de la même façon pour les trois longueurs d'onde utilisées précédemment, je me suis contentée d'étudier en détail l'une d'elles, la lame C. En même temps, en vue d'une comparaison, j'ai procédé aux mêmes mesures sur la lame perpendiculaire A. J'ai obtenu les valeurs ci-dessous :

Tableau de variation de x avec λ pour les lames C ∥ et A ⊥

λ en mètres	Fréquence	Lame C ∥ Xμ	Lame A ⊥ Xμ
207	1.449.300	1461 1470	
210	1.428.600	1492 stable	
213	1.408.400	1440 instable 1384	
216	1.388.900	1574	
218	1.376.100	On ne peut rétablir les battements avec la lame	
220	1.363.600	1610 1596	1576
230	1.304.300	1525	1576
240	1.250.000	1518	1576
250	1.200.000	1514	1575
260	1.153.800	1513	1576
270	1.111.100	1496	1576
280	1.071.400	1498	1576
282	1.063.800	1474	
285	1.052.600	1450 1468	
289	1.038.100	1412	
290	1.034.500	On ne peut rétablir les battements avec la lame	1576
291	1.031.000	1666? mesure difficile à effectuer	
293	1.023.900	Pas de battements	
296	1.013.500	1613	
298	1.006.700	1577	
300	1.000.000	1559 1574	1576

On constate tout d'abord que la hauteur compensatrice x reste identique pour les différentes valeurs de λ lorsque la lame A est en expérience ; au contraire, pour la lame C piézo-électrique, *la variation est très importante.* Dans la courbe ci-dessous, les hauteurs x sont en ordonnées et les fréquences en abscisses (fig. 43).

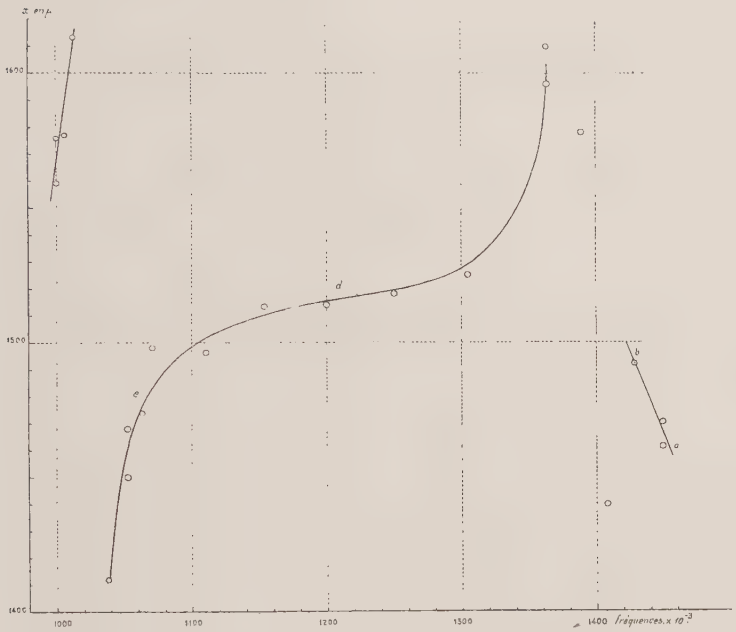


Fig. 43. — Courbe de variation de la hauteur compensatrice en fonction des fréquences (lame C).

Si, comme je le pense, ces résultats proviennent d'expériences correctes, une conclusion expérimentale s'impose en dehors de toute théorie. Tandis que la constante diélectrique des lames perpendiculaires à l'axe varie peu dans les limites où la longueur d'onde peut changer, les lames piézo-électriques présentent des anomalies importantes. Pour la lame piézo-électrique C qui m'a servi (dimensions : 3 cm. suivant la direction perpendiculaire à la fois à l'axe électrique et à l'axe optique, 9 cm. suivant la direction parallèle à l'axe

optique, 0 cm. 1928 dans le sens de l'axe électrique), la hauteur compensatrice varie brusquement aux environs de 210 m., présente une discontinuité importante entre 210 et 218 m., et, pour cette dernière valeur, *on ne peut plus déterminer* x. Un fait analogue au précédent se produit vers 280 m. : la hauteur compensatrice baisse subitement et rapidement pour présenter une discontinuité et remonter brusquement à 296 m.

La courbe entre 220 et 290 m. a une forme curieuse et une symétrie remarquable.

Il me semble donc que *si le séismo-condensateur avait son diélectrique partiellement formé par le quartz piézo-électrique et si la longueur d'onde utilisée était au voisinage des valeurs critiques que je viens d'indiquer pour les dimensions des lames que j'ai utilisées, l'effet d'influence sur les battements serait amplifié par les instabilités liées aux anomalies précédentes.* Outre les parties voisines des zones de coupure il semblerait possible d'utiliser la courbe entre les points *a* et *b*, dans cette région le quartz piézo-électrique accentuerait les variations de capacité. En effet entre ces points, si λ croît, c'est que C croît, puisque $\lambda = v.2\pi\sqrt{CL.}$

En même temps, pour le quartz qui se trouve dans le circuit, x croît, donc $K = \frac{e}{e - x}$ augmente aussi et par suite la capacité. Pareille action ne se produirait pas entre c et f où le quartz joue le rôle connu de stabilisateur. Cependant des mesures faites récemment ont fourni pour la région a b des points qui se groupent comme sur la partie e f de la courbe. La forme signalée me paraît accidentelle. Je l'attribue au fait que lors des premières mesures je cherchais à réduire autant que possible la couche d'air au-dessus de la lame et celle-ci a dû être légèrement comprimée.

Pratiquement, il faudrait installer dans le circuit du séismo-condensateur un condensateur avec la lame piézo-électrique C et régler les trois circuits au voisinage de $\lambda = 218$ m. ou $\lambda = 290$ m.

4. *Interprétation possible.*

La lame piézo-électrique se trouve ici dans un champ alter-

natif sous une différence de potentiel variable, comme les quartz utilisés par Langevin [48] [49] dans le dispositif connu des ultra-sons[1]. On sait que, pour une différence de potentiel V, une lame piézo-électrique se dilate d'une quantité $\delta = 6{,}32 \cdot 10^{-8} \cdot V$.

Or, pour le sondage du fond de la mer par les ultra-sons, il fallait réaliser une amplitude de vibrations de $\delta = 3 \cdot 10^{-5}$; ce qui nécessitait une tension de l'ordre de 150 000 volts.

Langevin réussit à diminuer la valeur nécessaire de cette tension en utilisant la résonance élastique de la lame de quartz. Une lame de quartz piézo-électrique peut vibrer comme une plaque avec une fréquence inversement proportionnelle à son épaisseur ; si la fréquence du courant oscillant est en résonance avec celle de la lame, l'amplitude des oscillations devient environ cinq fois plus grande. En ajoutant des lames d'acier qui entrent elles-mêmes en vibration, l'amplitude des mouvements du système ainsi constitué devient suffisante pour un voltage réduit à 2 500 volts.

Ce qu'il faut retenir du dispositif des ultra-sons pour l'objet que l'on a ici en vue, c'est la relation entre les caractéristiques du circuit oscillant et une vibration mécanique de la lame.

D'autres auteurs, Cady [50-51], Pierce [52], Dye [53], ont étudié le phénomène des vibrations longitudinales ou transversales du quartz en relation avec la piézo-électricité.

Je me suis demandé s'il ne serait pas possible de relier les anomalies que j'ai constatées expérimentalement au phénomène de résonance des lames, c'est-à-dire de comparer la fréquence mécanique à la fréquence électrique.

La vitesse de propagation de l'onde élastique dans le quartz est :

$$V = \sqrt{\frac{E}{\rho}} = 546000 \text{ cm./sec.}$$

1. Le circuit d'émission est analogue à celui du microphone-condensateur. Ce circuit agit par induction sur un deuxième circuit dans lequel se trouve le « projecteur », c'est-à-dire l'ensemble vibrant : quartz, acier, et les appareils nécessaires pour régler la fréquence et obtenir un voltage de 2 500 volts.

en admettant pour valeurs moyennes [54] :

$$E = 7{,}9 \cdot 10^{11} \text{ dyne/cm.}^2 \text{ (module de Young)}$$
$$\rho = 2{,}65 \text{ (densité du quartz).}$$

L'hypothèse d'une vibration en demi-onde conduit à $e = \frac{\lambda}{2}$, d'où :

$$n = \frac{V}{2e} = \frac{546000}{2 \cdot 0{,}1928} = 1\ 415\ 900.$$

Cette fréquence est voisine de celle qui correspond à la première anomalie signalée, mais la deuxième ne trouve pas une explication aussi simple, et cette discordance jette un doute sur la première supposition. On pourrait penser que, la lame reposant sur l'armature inférieure du condensateur, la vibration aurait lieu en quart d'onde, la face supérieure étant seule entièrement libre.

Les formules $n = \frac{V}{4e}$ ou $n = \frac{V \cdot 3}{4e}$ ne conduisent à aucun résultat.

Il faut pourtant remarquer que la vibration d'une plaque de quartz est un phénomène très complexe qu'il conviendrait d'étudier en détail. Les vibrations dans le sens perpendiculaire au champ ont seules été l'objet d'études approfondies en vue d'application à la T. S. F., et il n'est pas surprenant que les considérations très simples que je viens d'exposer ne suffisent pas pour éclaircir le phénomène des anomalies. Il conviendrait de reprendre cette question dans un travail ultérieur.

5. *Calcul et représentation graphique des variations de capacité du condensateur plan avec quartz piézo-électrique et air.*

Cady [50-51] a montré le premier qu'un condensateur à lame de quartz dans un circuit oscillant a une capacité variable avec la fréquence. Ses travaux le conduisirent à l'utilisation du quartz comme étalon de fréquence et par la suite

l'application du quartz piézo-électrique se généralisa en T. S. F.[1].

J'ai indiqué dans la courbe ci-jointe (fig. 44) la variation de la capacité du condensateur quartz et air, en fonction des fréquences utilisées. On verra que les mesures des hauteurs compensatrices x destinées à déterminer K sont

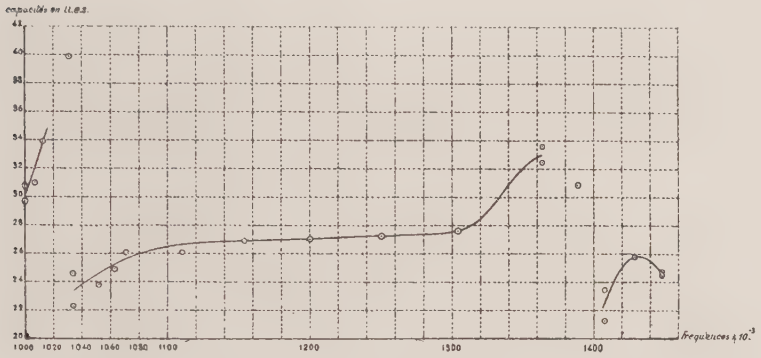


Fig. 44. — Variation de la capacité du condensateur quartz et air en fonction des fréquences.

faites de telle manière que l'armature supérieure est au voisinage du diélectrique lorsque celui-ci est introduit dans le condensateur. La distance entre les armatures est donc : (E + x) peu différent de e ; je prendrai E + x = 2000 μ (pour la lame de quartz considérée e = 1928 μ). Le condensateur quartz et air ainsi constitué a une capacité équivalente au condensateur à air dont la distance des armatures est E = 2000 μ — x ; x varie avec la fréquence.

Les calculs ont été faits en utilisant les données du tableau p. 84. Il y a lieu de rapprocher cette courbe de celle de Cady.

6. *Conclusions relatives aux lames piézo-électriques.*

Les deux anomalies de la courbe (fig. 43) mises à part, on

1. Voir un exposé d'ensemble dans F. Bedeau, *Le quartz piézo-électrique et ses applications dans la technique des ondes hertziennes* (Mémorial des sciences physiques, 1928, fascicule VI).

peut constater que de $\lambda = 240$ m. à $\lambda = 260$ m. x *reste identique aux erreurs d'expérience près.* Toutes les nombreuses mesures qui m'ont servi précédemment pour étudier la méthode des battements ont été faites à 260 m., et j'ai pu conserver et citer les résultats concernant cette lame C parce qu'elle se montre stable pour cette longueur d'onde et ne paraît pas soumise à des phénomènes complexes.

De plus, j'ai constaté que sa constante diélectrique K = 4,64 correspond à la valeur K = 4,66 d'un disque piézo-électrique de dimensions très différentes (lame F : e = 0 mm. 988, d = 5 cm.).

Un calcul analogue à celui que j'ai fait p. 88 pour la lame C donne la fréquence propre de la lame F pour des vibrations soit en quart d'onde, soit en demi-onde, dans le sens du champ ; on a :

$$n = \frac{V}{4 \,.\, 0{,}0988} = 1.381.500.$$

$$n = \frac{V}{2 \,.\, 0{,}0988} = 2.763.000.$$

La lame F posée directement sur l'armature inférieure semble donc pouvoir vibrer en quart d'onde au cours des variations de fréquence que j'ai utilisées. Les mesures, cependant, n'accusent aucune anomalie. Voici les résultats obtenus pour la lame F et la lame E :

λ en mètres	Fréquence	Lame F $X\mu$	Lame E $X\mu$
208	1.442.200	774	
213	1.408.400	776	
220	1.363.600	778	646
230	1.304.300	776	646
240	1.250.000	777	646
250	1.200.000	776	646
260	1.153.800	778	645
267	1.123.600		643
270	1.111.100	776	645
280	1.071.400	777	645
290	1.034.500	777	645
300	1.000.000	775	646

La lame F ne semble présenter aucune anomalie.

Je rappelle que Ferry (1897) terminait son étude en disant que certains quartz qui montraient dans une partie de leur section des spirales d'Airy avaient un pouvoir inducteur spécifique variable suivant leur position par rapport aux armatures dans l'huile d'olive ; mais ces quartz étaient plus sensibles au changement de fréquence que les autres qui ne présentaient pas ce phénomène. Il utilisait probablement ces lames au voisinage de leur résonance, et cela pourrait peut-être expliquer le chiffre 4,27 très faible qu'il a trouvé pour une lame parallèle.

Jammet [55] signale que les lames minces entrent en vibration moins facilement qu'un échantillon de dimensions normales (5 mm. d'épaisseur environ). On ne descend pas généralement au-dessous de 1 mm. Faut-il penser que cette lame F n'entrerait pas en vibration tandis que la lame C vibrerait?

On peut conclure que la constante diélectrique d'une lame piézo-électrique est de 4,64-4,66, valeur différente de la constante 4,77 d'une lame parallèle taillée parallèlement à un axe électrique.

A partir du moment où des anomalies se manifestent dans la hauteur compensatrice, on ne saurait parler de mesure du pouvoir inducteur spécifique. Le condensateur est en quelque sorte traversé et, dès ce moment, il se comporte comme un système doué de capacité, de résistance et d'impédance[1].

1. Voir à ce sujet Dye, *loc. cit.*

ANNEXES

I. — Relation entre e et E

Il était intéressant de rechercher la relation entre e (épaisseur de la lame introduite) et E (épaisseur d'air initiale entre les armatures du condensateur plan de capacité C) pour des longueurs d'onde déterminées des circuits et pour une variation donnée du nombre des battements ; autrement dit, il convenait de trouver la hauteur d'air qu'on pouvait admettre entre les armatures pour que la variation produite par l'introduction de la lame ne fût pas trop grande (voir p. 51).

On part d'une capacité identique dans les deux circuits I et II. Puis dans I on introduit une lame de quartz, par exemple, qui produit une variation de capacité ΔC, telle que :

$$\Delta C = \frac{S}{4\pi}\left(\frac{1}{E - e + \frac{e}{K}} - \frac{1}{E}\right)$$

La capacité totale du circuit I est représentée par $C_1 = A + C$ (A capacité fixe au cours d'une expérience, C capacité variable).

Désignons : n = nombre de battements.

N_1 = fréquence du circuit I.

N_2 = fréquence du circuit II.

Il s'agit de relier la variation ΔC à la variation dn.

1° Supposons $N_1 > N_2$; $\Delta C > 0$. Nous avons $n = N_1 - N_2$.

$N_1 = \frac{1}{2\pi\sqrt{C_1 L}}$ si C_1 croît, N_1 et n décroissent, donc $dn = dN_1$.

2° Si $N_1 < N_2$; $n = N_2 - N_1$; $\Delta C > 0$. Si C_1 croît, N_1 décroît, mais n croît. Donc $dn = -dN_1$.

On serait conduit à des conclusions analogues en prenant $\Delta C < 0$. Au point de vue expérimental, il y a continuité entre les deux cas ; on part de $N_1 > N_2$, on passe par $N_1 = N_2$, puis on a $N_2 > N_1$.

Supposons le cas $N_1 > N_2$; $\Delta C > 0$; $dn = dN_1$.

$$N_1 = \frac{1}{2\pi\sqrt{C_1 L}} \; ; \; \frac{dN_1}{N_1} = -\frac{1}{2} \cdot \frac{dC_1}{C_1} \text{ ou } dN_1 = -\frac{1}{2} N_1 \cdot \frac{dC_1}{C_1} \; ;$$

$$\text{or } C_1 = A + C.$$

$$C = \frac{S}{4\pi E} \; ; \; dN_1 = -\frac{1}{2} N_1 \cdot \frac{dC}{A + \frac{S}{4\pi E}} = -\frac{1}{2} \frac{N_1 4\pi E}{4\pi EA + S} \cdot dC$$

$$\text{d'où : } dC = -\left(\frac{4\pi EA + S}{2\pi N_1 E}\right) dN_1 \qquad (1)$$

Or :

$$dC = \frac{S}{4\pi}\left(\frac{1}{E - e + \frac{e}{K}} - \frac{1}{E}\right) \qquad (2)$$

d'où en rapprochant (1) et (2) :

$$\frac{S}{4\pi} \frac{e - \frac{e}{K}}{\left(E - e + \frac{e}{K}\right) E} = -\left(\frac{4\pi EA + S}{2\pi N_1 E}\right) dN_1.$$

Après transformations et ordonnant par rapport à E :

$$\frac{8\pi AE^2}{S} - \frac{8\pi A}{S}\left(1 - \frac{1}{K}\right) eE + 2E - \left(1 - \frac{1}{K}\right) 2e + \left(1 - \frac{1}{K}\right) \frac{N_1}{dN_1} e = 0$$

$$\frac{8\pi A}{S} E^2 - \frac{8\pi A}{S}\left(1 - \frac{1}{K}\right) eE + 2E + \left(\frac{N_1}{dN_1} - 2\right)\left(1 - \frac{1}{K}\right) e = 0$$

qu'on peut écrire sous la forme : $aE^2 - beE + dE + \lambda e = 0$.

Si l'on considère E et e comme variables, l'équation ci-dessus représente une hyperbole, dont les directions asymptotiques sont données par :

$$a\left(\frac{E}{e}\right)^2 - b\frac{E}{e} = 0$$

soit : $\frac{E}{e} = 0$ et $\frac{E}{e} = \frac{b}{a}$

Le centre de la courbe est défini par $F'_e = 0 = -bE + \lambda$

d'où : $E_0 = +\frac{\lambda}{b}$

et $F'_E = 0 = 2aE - be + d$

$$e_0 = \frac{2aE+d}{b} = \frac{2a\frac{\lambda}{b}+d}{b}$$

Variation de l'hyperbole en fonction de λ.

L'expression de λ amène quelques remarques :

$$\lambda = \left(\frac{N_1}{dN_1} - 2\right)\left(1 - \frac{1}{K}\right)$$

dN_1 est connu en fonction de dn qui, suivant les conditions expérimentales, peut être positif ou négatif ; mais, d'après les considérations ci-dessus :

si $dn = dN_1$ $dn < 0$; et si $dn = -dN_1$ $dn > 0$.

Donc, dans les deux cas, $\frac{N_1}{dN_1}$ a le même signe ; ce rapport est négatif. Quel que soit le cas envisagé, l'hyperbole reste la même.

e et E devant être positifs, pour un e donné il n'existe qu'une seule solution acceptable pour E.

Quelle est l'influence de λ sur la forme de l'hyperbole ? Ce terme dépend surtout de la longueur d'onde du circuit ; or, on peut agir sur cette longueur en modifiant uniquement la self : dans ces conditions, les termes a, b et d ne changent pas.

Les directions asymptotiques resteront les mêmes ; les centres se déplaceront sur une droite. Les courbes passeront toujours par l'origine.

Plus le terme λ sera grand en valeur absolue, plus le centre s'éloignera sur la droite qui le porte dans le sens des valeurs négatives de E et e ; il résulte de ce déplacement que les courbes s'ouvriront de plus en plus, la variation de E avec e sera plus rapide.

Application numérique : cas de $\Lambda = 300$ *mètres.*

$S = 7{,}5 \cdot 2{,}2 = 16{,}5$ $A = 0\,\mu F{,}00098 \cdot 9.10^5 = 882$ u e s.

$$\frac{8\pi A}{S} = 1343 \qquad N_1 = \frac{3.10^{10}}{3.10^4} = 10^6$$

donnons-nous : $dn = dN_1 = -100$

$K = 4{,}5$ environ $\left(1 - \frac{1}{K}\right) = \frac{3{,}5}{4{,}5} = 0{,}777$

en négligeant 2 dans le terme $\left(\frac{N_1}{dN_1} - 2\right)$, soit 2 par rapport à 10^4

$$1343\ E^2 - 1045\ e\ E + 2\ E - 7770\ e = 0.$$

Les coefficients angulaires des asymptotes sont :

$$\frac{E}{e} = 0 \quad \text{et} \quad \frac{E}{e} = \frac{1045}{1343} = 0{,}778.$$

Le centre de l'hyperbole a pour coordonnées :

$$E^o = \frac{-7770}{1045} = -7{,}43.$$

$$e_o = \frac{-(2\ .\ 1343\ .\ 7{,}43) + 2}{1045} = -19{,}11.$$

L'une des asymptotes est $E = -7{,}43$; l'autre $\frac{E - E_o}{e - e_o} = 0{,}778$

$$E + 7{,}43 = 0{,}778\ (e + 19{,}11)$$

si $E = 0 \quad e = -\frac{0{,}778\ .\ 19{,}11 + 7{,}43}{0{,}778} = -9{,}56$

si $e = 0 \quad E = 19{,}11\ .\ 0{,}778 - 7{,}43 = +7{,}43.$

Revenons à l'équation ordonnée par rapport à E.

$$1343\ E^2 - (1045\ e - 2)\ E - 7770\ e = 0$$

$$E = \frac{(1045\ e - 2)}{2\ .\ 1343} \pm \frac{1}{2\ .\ 1343}\sqrt{(1045\ e - 2)^2 + 4\ .\ 1343\ .\ 7770\ e}$$

la droite $E_1 = \left[\frac{1045\ e - 2}{2\ .\ 1343}\right]$ est un diamètre de la courbe.

Pour $E = 0 \quad e_1 = \frac{2}{1045}$ pour $e = 0 \quad E_1 = \frac{-1}{1343}$

On peut construire cette droite : elle passe par le centre de l'hyperbole et au voisinage de zéro.

Le tableau suivant résume les résultats théoriques pour trois valeurs de la longueur d'onde. Pratiquement, pour $\Lambda = 30$ m., la self serait très faible si A ne change pas.

Résumé.

	Centres		Asymptotes
	E_o	e_o	
$\Lambda =$ 30 m.	— 74,35	— 191,1	$\begin{cases} E = 0 & e = -95{,}56 \\ e = 0 & E = +74{,}35 \end{cases}$
$\Lambda =$ 300 m.	— 7,43	— 19,11	$\begin{cases} E = 0 & e = -9{,}56 \\ e = 0 & E = +7{,}43 \end{cases}$
$\Lambda =$ 3000 m.	— 0,74	— 1,91	$\begin{cases} E = 0 & e = -0{,}95 \\ e = 0 & E = +0{,}74 \end{cases}$

		e						
		0,2	0,4	0,6	1	2	3	10
Λ = 30 m.	E	3.48	4,97	6,13	8,0	11,56	14,45	28,25
Λ = 300 m.	E	1,15	1,68	2,10	2,82	4,26	5,49	12,21
Λ = 3000 m.	E	0,42	0,66	0,86	1,24	2,10	2,92	8,45

Ci-dessous les courbes correspondantes (fig. 45 et 46).

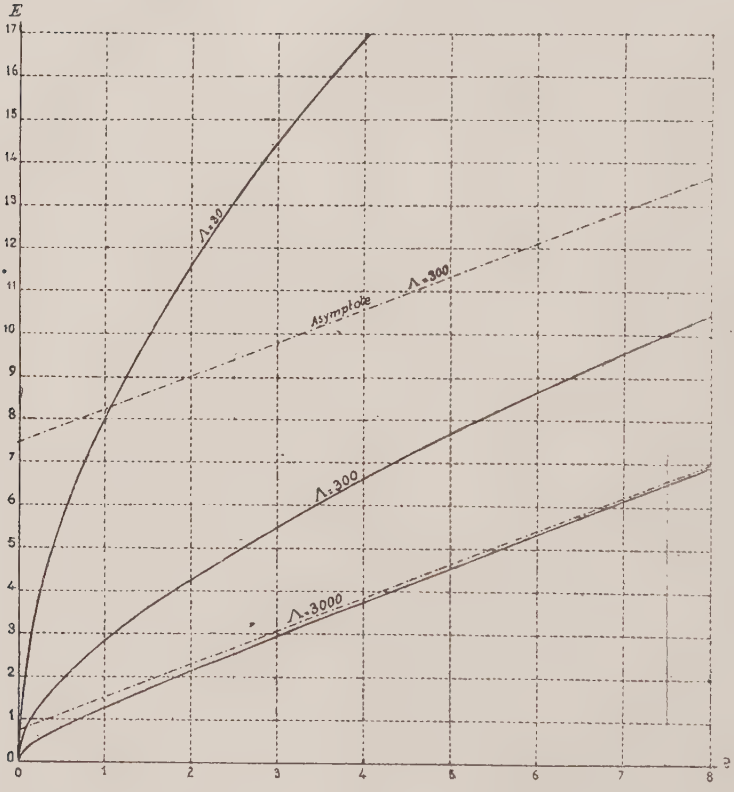


Fig. 45. — Relations entre e et E pour Λ = 30, 300 et 3,000 mètres.

Pour 300 m. on a E = 1,15, pour e = 0,2, ce qui veut dire que, pour une variation de 100 battements, il faudrait, avec une lame de 0 cm. 2, partir d'une épaisseur d'air de 1 cm. 15.

C'est au voisinage de ces valeurs que je travaillais lorsque j'ai essayé la méthode directe (voir p. 51).

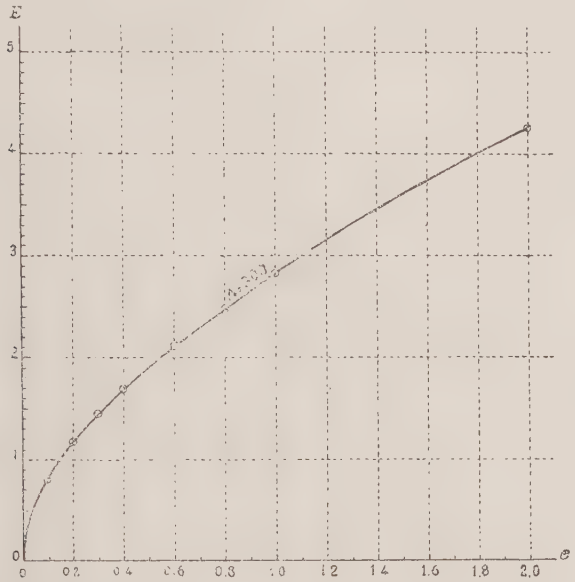


Fig. 46. — Relations entre e et E pour A = 300 mètres.

II. — Considérations sur les conditions d'application de la formule des condensateurs

Au chapitre III, j'ai signalé que la capacité du condensateur plan de mesure pouvait s'exprimer par $C = \frac{S}{4\pi E}$. Il y a lieu de réfléchir aux conditions dans lesquelles les expériences étaient faites : la vis déterminait alors un déplacement limité par la condition d'inscription des battements ; la formule s'applique dans ce cas et j'ai pu faire une autre vérification aboutissant à la même conclusion.

J'ai exprimé la loi qui relie le nombre des battements à la hauteur d'air entre les armatures.

Soit : n = nombre des battements.

N_1 = fréquence du circuit I de mesure.

N_2 = fréquence du circuit II.

Capacité $C_1 = A + C$,

(A fixe, capacité en parallèle avec C, et $C = \frac{S}{4\pi E}$)

On établit aisément d'après les formules déjà vues (p. 93) que :

$$dC = -\frac{4\pi EA+S}{2\pi N_1 E} \cdot dN_1 \quad \text{et} \quad dC = \frac{S}{4\pi E^2} \cdot dE$$

d'où :

$$dn = \frac{N_1 . S . dE}{2E\ (4\pi EA+S)}$$

A variera légèrement suivant la valeur de E. J'ai pris une valeur de C_1 déterminée par l'étalonnage du circuit II invariable et, suivant la valeur de E, j'ai déduit celle de A. J'ai obtenu ainsi le tableau ci-dessous qui offre une assez bonne concordance entre les valeurs calculées et les valeurs observées, mais il est entendu que ces chiffres *ne concernent que de faibles domaines de variation de E*, tant à cause des limites imposées par l'inscription des battements que du fait que les formules appliquées sont des différentielles et ne sauraient s'étendre à de larges variations.

Comparaison de la variation du nombre des battements dn en fonction de E $\qquad dn = + \frac{N_1 . S . dE}{2E\ (4\pi EA+S)}$

E en μ	$\frac{N_1 S}{2E\ (4\pi EA + S)}$	dn calculé pour dE = 5μ	dn observé pour dE = 5μ
678	232 950	116	120
802	166 450	83	85
1082	91 480	45	55
1252	68 340	34	35
1358	57 260	28	31
1404	54 350	27	31
1980	27 320	13,6	14
2060	25 260	12,6	13
2340	19 570	9,7	12
2640	15 370	7,6	8
2720	14 480	7,4	6
3540	8 550	4,2	4
6780	2 330	1,1	1,2

Les conclusions de cette étude ne pourraient être étendues au cas où il s'agit de compenser l'effet d'une lame de quartz lorsque ΔE devient de l'ordre de 1500 μ.

III. — Étude des influences parasites possibles

La description et la photographie du condensateur plan de mesure accusent la présence de certaines pièces métalliques peu distantes de l'armature supérieure ; des effets de capacités parasites sont à craindre. Pour me rendre compte de leur importance, j'ai procédé à des séries de mesures sur la lame de quartz taillée parallèlement à l'axe, l'armature supérieure étant reliée aux pièces métalliques voisines. Les nombres relatifs à l'absence de liaison avaient été obtenus dans les premières expériences sur le quartz (p. 55). La courbe établie en portant en abscisses les valeurs de E (distance des armatures quand le condensateur à air est équivalent au condensateur avec quartz) et en ordonnées celles de x (hauteur compensatrice) se confond avec une droite parallèle à l'axe des E entre 400 μ et 1200 μ, ensuite elle se relève progressivement et passe de 1515 μ à plus de 1600 μ pour des hauteurs d'air initiales de 3500 μ.

Une deuxième série de mesures fut faite encore sur la lame parallèle en effectuant la liaison indiquée sur la figure 47, de façon à annuler l'effet dû au support d'ébonite placé entre deux pièces métalliques. Ce dispositif conduit aussi à une droite parallèle à l'axe des E entre 400 et 900 μ, puis la courbe se relève et passe nettement au-dessus de la première, accusant ainsi une plus grande perturbation.

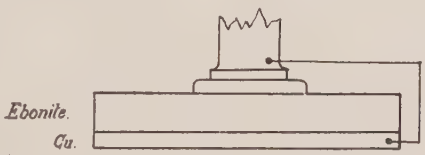


Fig. 47. — Liaison de l'armature supérieure du condensateur plan aux pièces métalliques voisines.

Enfin, une troisième courbe a été obtenue, l'armature inférieure étant reliée à la partie supérieure du condensateur, l'ensemble constituant ainsi deux condensateurs en parallèle dont un seul est variable (fig. 48). La courbe est encore sur un certain trajet une droite parallèle

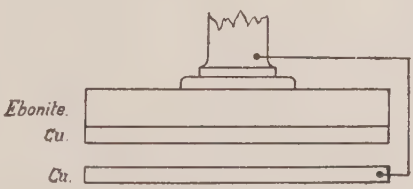


Fig. 48. — Liaison de l'armature inférieure aux pièces métalliques.

à l'axe des E et a la même ordonnée que les deux précédentes ; vers 1900 μ elle se détache légèrement de la première et lui reste un peu inférieure pour les abscisses croissantes.

Ces expériences prouvent donc l'existence réelle de perturbations dues aux effets des capacités des pièces métalliques, mais elles ne se révèlent et ne se montrent gênantes que pour des hauteurs initiales d'air qu'il suffira d'éviter dans des mesures définitives.

1° Sans liaison.

E en μ	x (lame $\parallel_1$) en μ	x (lame $\perp_1$) en μ
412		1576
486		1576
536	1515*	1580*
537	1513*	1578*
588		1576
660	1515*	1579*
660		1579*
932	1515*	1582*
1112	1518*	1586*
1224	1525*	1590*
1920	1552*	1620*
2586	1581*	1644*

2° Armature supérieure à la partie supérieure.

E en μ	x (lame $\parallel_1$) en μ	x (lame $\perp_1$) en μ
418	1517	1582
422	1515	1583
482	1516	1582
482	1518	1580
860	1520	1582
1144	1526	1590
1960	1560	1630
3400	1659	1720

3° Armature inférieure à la partie supérieure.

E en μ	x (lame $\|\|_t$) en μ	x (lame $\perp_t$) en μ
444	1518	1582
498	1516	1591
786	1518	1582
1104	1518	1585
1820	1542	1606
2480	1560	1620
3270	1592	1655
3320	1593	1661

IV. — Interprétation a l'aide de la formule de Kirchhoff

Ces premières constatations faites et devant l'impossibilité de supprimer complètement par l'expérience les perturbations signalées, il était naturel de se reporter aux travaux faits sur la détermination de la valeur exacte de la capacité d'un condensateur plan. Plusieurs formules ont été proposées pour exprimer la valeur d'un tel condensateur, par exemple celle de Kirchhoff pour les armatures circulaires [1] est de la forme :

$$c = \frac{r^2}{4E} + \frac{r}{4\pi}\left[L\,\frac{16\,\pi\,r\,(E+d)}{E^2} + 1 + \frac{d}{E}\,L\,\frac{E+d}{d}\right]$$

La capacité n'est pas exprimée seulement par une fonction simple du rayon r des armatures et de leur distance E, il s'ajoute des termes correctifs compliqués dans lesquels entre l'épaisseur d des armatures. Or, dans mon appareil, cette épaisseur de 0 cm. 45 était importante ; elle avait été choisie ainsi dans le but d'éviter des déformations.

J'ai déterminé par le calcul les corrections approximatives à apporter à la formule simple $C = \frac{S}{4\pi E} = \frac{r^2}{4E}$ Les termes correctifs sont de la forme :

$$A = \frac{r}{4\pi}\left[L\,\frac{16\pi\,r\,(E+d)}{E^2} + 1 + \frac{d}{E}\,L\,\frac{E+d}{d}\right]$$

1. *Gesammelte Abhandlungen* von G. Kirchhoff. Leipzig, 1882 ; Kohlrausch, *Lehrbuch der praktischen Physik*, Elfte Auflage, Leipzig und Berlin, p. 608.

E et d sont mesurés directement. J'admets l'assimilation approximative avec des disques de même surface que les armatures rectangulaires.

Les chiffres ci-dessous montrent que le terme correctif décroît lorsque la hauteur E entre les armatures augmente.

E en μ	$C = \frac{S}{4\pi E}$ u e s	A u e s	C' u e s
200	65,65	2,591	68,241
500	26,26	2,26	28,52
1000	13,13	2,013	15,143
1716	7,652	1,82	9,472
2000	6,56	1,774	8,334
2016	6,51	1,773	8,226
2516	5,207	1,696	6,903
3516	3,735	1,583	5,318

On sait que lorsqu'on introduit le quartz on doit accroître la hauteur E pour compenser son effet. J'admets d'abord que la formule de Kirchhoff s'applique au cas de deux diélectriques et qu'il suffit ici encore de remplacer e par $\frac{e}{K}$.

Si $C' = \frac{S}{4\pi E} + A$, l'introduction de la lame conduit à :

$$C' = \frac{S}{4\pi E} + A = \frac{S}{4\pi \left(E - e + \frac{e}{K} + x\right)} + A'$$

$$\frac{S}{4\pi}\left[\frac{1}{E - e + \frac{e}{K} + x} - \frac{1}{E}\right] = A - A'$$

Si $A' \gtrless A$

$$\frac{1}{E - e + \frac{e}{K} + x} \gtrless \frac{1}{E}$$

$$E - e + \frac{e}{K} + x \lesseqgtr E$$

$$\frac{e}{e - x} \lesseqgtr K.$$

L'expérience nous apprend que $\frac{e}{e-x} > K$, ce qui signifie $A' > A$. D'où l'on peut conclure que *pour le condensateur avec quartz E et d ne sont pas les seuls facteurs entrant dans la correction.* En effet, les données ci-dessus prouvent que dans l'air la correction diminue lorsque E augmente, et par suite on devrait avoir $A' < A$.

La condition $A' > A$ conduit à supposer que le quartz intervient d'une autre manière dans le terme correctif.

Si ma première supposition avait été exacte et si les expériences avaient été faites avec des disques, il aurait suffi d'appliquer au cas complexe des deux diélectriques la même formule que pour un milieu homogène, autrement dit il aurait suffi de remplacer l'épaisseur e de la lame de quartz par une lame d'air $\frac{e}{K}$ et il en serait résulté un procédé de calcul de K.

En effet, soit C' la capacité avec une couche d'air d'épaisseur E :

$$C' = \frac{r^2}{4E} + \frac{r}{4\pi}\left[L\frac{16\,\pi\,r\,(E+d)}{E^2} + 1 + \frac{d}{E}L\frac{E+d}{d}\right]$$

Soit E_1 l'épaisseur d'air qui doit exister au-dessus de la lame de quartz pour ramener la capacité à la valeur C'. On serait en droit d'écrire :

$$C' = \frac{r^2}{4\left(\frac{e}{K}+E_1\right)} + \frac{r}{4\pi}\left[L\frac{16\,\pi\left(\frac{e}{K}+E_1+d\right)}{\left(\frac{e}{K}+E_1\right)^2} + 1 + \frac{d}{\frac{e}{K}+E_1}L\frac{\left(\frac{e}{K}+E_1\right)+d}{d}\right]$$

Ainsi on pourrait déterminer par approximations successives la valeur de K satisfaisant le mieux à cette équation et s'assurer qu'elle conserverait la même valeur quelle que soit la distance initiale E.

Il y aurait encore lieu d'approfondir cette question.

La difficulté semble d'ailleurs venir du fait que le diélectrique n'est pas homogène.

J'ai essayé d'éclaircir ce point en réalisant des comparaisons entre la variation du condensateur de mesure C avec et sans diélectrique. Il suffisait d'ajouter un troisième condensateur C' en parallèle avec A et C dans le circuit I. La manière dont j'ai raisonné repose sur la supposition que les variations d'impédance des différents circuits sont négligeables. L'impédance Z d'un cir-

cuit formé d'une self L et de deux condensateurs en parallèle est telle que :

$$\frac{1}{Z} = \frac{1}{Z_1} + \frac{1}{Z_2} + \frac{1}{Z_3}$$

Z_1, Z_2, Z_3 sont les impédances des circuits LA, lC et l'C' (l et l' sont les selfs des fils de connexion) (fig. 49). Au cours d'une mesure, Z_1 reste invariable. La supposition ne porte donc que sur les variations de self dues au déplacement de l'armature. J'admets que celui-ci ne perturbe pas l'impédance des circuits Z_2, Z_3 en agissant sur un élément autre que la capacité. On peut alors écrire, quand une compensation est établie entre les deux condensateurs C et C' : $-\Delta C' = +\Delta C$. On produisait une variation $\Delta C'$ et on la compensait par une variation ΔC, 1° sans quartz, 2° avec quartz.

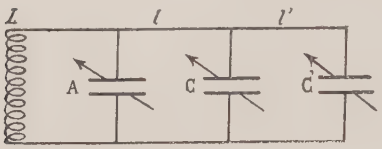


Fig. 49. — Schéma de circuits dérivés.

Les expériences ont été faites par la méthode auditive.

Le condensateur C' était formé de deux disques métalliques de diamètre 4 cm. 60 ; l'un reposait sur un bloc d'ébonite, l'autre pouvait être soulevé par l'intermédiaire d'un tube d'ambroïne serré dans un support isolant. Toute pièce métallique accessoire était donc supprimée.

Lorsque je voulais réaliser une variation $\Delta C'$ à partir d'une épaisseur initiale, je commençais par fixer ce point de départ en introduisant entre les plateaux de C' une glace d'épaisseur connue, je fixais le support d'ambroïne et retirais la glace. Je faisais alors une première mesure et déterminais E sur le condensateur C.

Pour obtenir $\Delta C'$, je libérais le plateau supérieur de C' et le descendais jusqu'à ce qu'il fût en contact avec une deuxième glace moins épaisse que la première ; je le fixais et enlevais la glace. Je faisais une deuxième mesure et obtenais ΔE.

Je veillais à ce que dans les essais successifs les glaces fussent placées aussi rigoureusement que possible dans la même position. On pouvait ainsi admettre que la variation $\Delta C'$ était toujours la même dans les opérations consécutives.

Appliquons la formule classique :

1° Au condensateur de mesure sans diélectrique :

$$\Delta C' = \frac{S}{4\pi E} - \frac{S}{4\pi (E+\Delta E)} = \frac{S}{4\pi}\left[\frac{1}{E} - \frac{1}{E+\Delta E}\right]$$

d'où :

$$\frac{4\pi \Delta C'}{S} = \frac{\Delta E}{E (E+\Delta E)}$$

2° Au condensateur avec diélectrique :

$$\Delta C' = \frac{S}{4\pi}\left[\frac{1}{E_1 - e + \frac{e}{K}} - \frac{1}{E_1 + \Delta E_1 - e + \frac{e}{K}}\right]$$

d'où :

$$\frac{\Delta E}{E (E+\Delta E)} = \frac{\Delta E_1}{\left(E_1 + \frac{e}{K} - e\right)\left(E_1 + \Delta E_1 - e + \frac{e}{K}\right)}$$

Il y aura identité dans les deux cas si l'on peut remplacer E par $E_1 - (e - \frac{e}{K})$. Ce fait se vérifiera par la construction des courbes $E = f(\Delta E)$ sans quartz et $E_1 = f(\Delta E_1)$ avec quartz ; pour une même abscisse $\Delta E = \Delta E_1$, les ordonnées E et E_1 ne devront différer que d'une même quantité $(e - \frac{e}{K})$, qui n'est autre que x, la hauteur d'air compensatrice dans la deuxième méthode.

Les courbes devront donc être parallèles.

Les expériences ont été faites avec une lame de quartz parallèle, une lame perpendiculaire et une lame de verre.

J'indique ci-dessous les résultats se rapportant à la lame A perpendiculaire :

1° Condensateur de mesure sans quartz		2° Condensateur de mesure avec quartz	
E en μ	ΔE en μ	E_1 en μ	ΔE_1 en μ
321	36	2025	64
327	38	2105	92
347	43	2227	140
371	47	2389	228
387	52	2693	460
429	63	3319	1334
501	85		
607	124		
767	200		
1015	362		
1483	906		
1683	1230		

Dans le graphique, au lieu de tracer la courbe $E_1 = f(\Delta E_1)$, j'ai tracé la courbe $E_1 - (e - \frac{e}{K}) = f(\Delta E_1)$ (fig. 50).

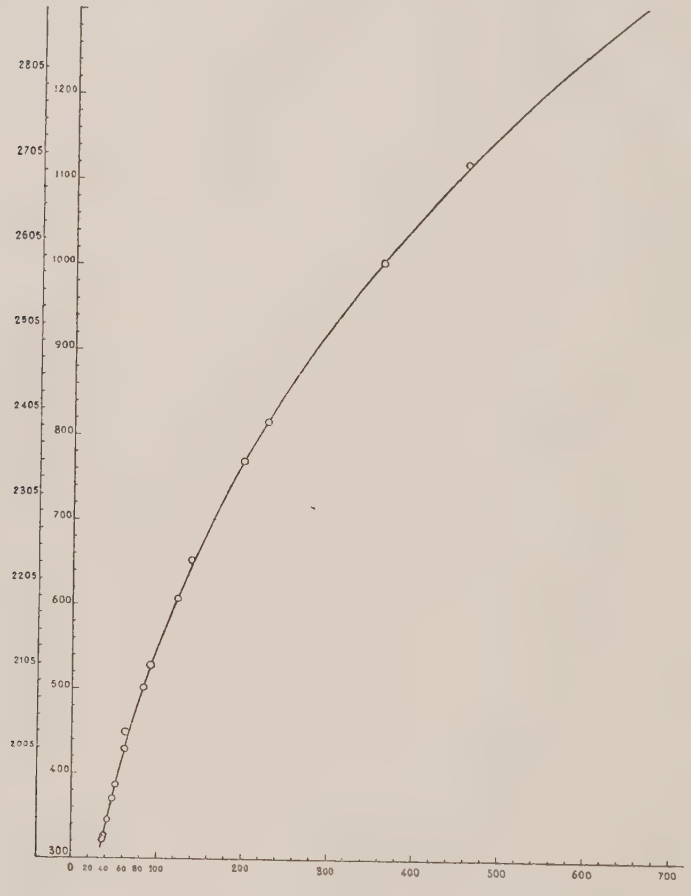


Fig. 50. — Comparaison du condensateur plan sans quartz et avec quartz.

Les valeurs de K, que l'on pourrait tirer de l'égalité $E = E_1 - e(1 - \frac{1}{K})$ pour $\Delta E = \Delta E_1$, concorderaient avec celles obtenues par la méthode de compensation pour une épaisseur E voisine de celle de la lame du diélectrique à étudier.

V. — Vérification expérimentale du rôle des armatures suivant leur forme et leur épaisseur

Pour mettre en évidence l'influence de la forme des armatures, j'ai utilisé les diverses plaques métalliques interchangeables du condensateur (voir p. 43). Précédemment j'ai discuté l'effet de l'épaisseur des armatures, j'ai voulu faire une vérification expérimentale consistant à déterminer la constante diélectrique d'une même substance avec des armatures circulaires et avec des armatures rectangulaires, cette fois de petite épaisseur.

Mesures sur le quartz.

Des mesures comparatives ont été faites sur la lame de quartz parallèle C, déjà étudiée.

1° *Avec les armatures primitives rendues mobiles.*

Ces mesures furent faites pour montrer que le nouveau montage ne causait aucune perturbation et que les valeurs de x se retrouvaient identiques à celles obtenues avec les armatures fixes. C'est ce qui fut vérifié ; toutefois, je dois signaler qu'il fallait veiller au serrage des ressorts R et R', car l'armature supérieure, en raison de son épaisseur — 0 cm. 45 — avait tendance à descendre sous l'action de son poids.

2° *Avec des armatures rectangulaires analogues aux précédentes — 7 cm. 5 /2 cm. 2 — mais d'épaisseur d = 1 mm.*

E en μ	x en μ	E en μ	x en μ	E en μ	x en μ	E en μ	x en μ
512	1514	664	1512	888	1510	1398	1528
520	1512	664	1510	922	1512	1398	1528
520	1510	670	1512	924	1514	1524	1531
521	1512	684	1508	964	1516	1526	1531
554	1508	688	1513	964	1518	1746	1544
554	1508	596	1512	1004	1518	1748	1544
578	1512	592	1512	1008	1516	2450	1579
578	1513	884	1514	1006	1516	2450	1586

L'utilisation de ces lames métalliques, ne différant des premières que par l'épaisseur, avait pour but d'étudier l'effet du

terme d qui intervient dans la formule de Kirchhoff. La courbe correspondante reste presque entièrement confondue avec la précédente, à peine passe-t-elle au-dessus de la première à partir de E $>$ 900 μ. *L'action de l'épaisseur sur l'évaluation de la capacité est donc dans ce cas très restreinte.*

3° *Avec des disques de diamètre 2 cm. 2 et d'épaisseur 1 mm.*

Afin d'analyser l'effet des armatures rectangulaires, j'ai effectué des mesures sur des disques de même épaisseur. Les lames de quartz utilisées n'ayant que 3 cm. de large, j'ai dû réduire la dimension des disques.

Résultats obtenus :

E en μ	x en μ	E en μ	x en μ
470	1512	514	1514
470	1512	612	1510
472	1514	664	1510
472	1514	764	1522
462	1512	768	1520
508	1514	1214	1544
510	1516	1216	1544
565	1510	1562	1568
565	1510	1576	1571
558	1514	1582	1568
514	1512	1934	1586

La courbe représentative de ces données se détacherait nettement des précédentes vers 700 μ et la pente serait ensuite beaucoup plus forte.

Mesures sur le crown.

En vue d'une généralisation des résultats, des mesures identiques aux précédentes furent exécutées sur une lame de crown d'épaisseur e = 933 μ.

Les dimensions de la lame furent choisies de manière à pouvoir comparer les disques de petit diamètre (2 cm. 2) avec des disques plus larges (4 cm. 60).

1° *Mesures avec des armatures en forme de disques* $\Phi = 4$ *cm. 60*, $d = 1$ *mm.*

E en μ	x en μ	E en μ	en μ
194	792	472	806
196	792	660	808
196	804	708	804
200	796	732	802
202	806	932	808
206	782	1074	810
216	805	1076	804
226	804	1242	812
268	802	1294	818
320	804	1610	822
328	802	1788	834
394	804	1792	828

La perturbation ne se fait sentir qu'à partir de $E > 1000$ μ, et la pente est relativement faible.

2° *Mesures avec des disques* $\Phi = 4$ *cm. 60*, $d = 2$ *mm.*

E en μ	x en μ	E en μ	x en μ
180	786	448	814
180	790	506	808
186	804	560	810
188	806	720	810
238	806	750	810
278	804	758	812
288	806	802	816
316	792	874	820
322	812	950	820
322	806	950	820
331	807	1170	820
336	798	1162	821
336	804	1590	844

Cette courbe se détache de la première vers $E > 600$ μ et passe au-dessus.

3° *Mesures avec disques* $\Phi = 2$ *cm. 2,* $d = 1$ *mm.*

E en μ	x en μ	E en μ	x en μ
178	796	524	814
184	800	618	818
200	806	724	824
208	800	730	818
246	808	878	840
288	806	884	832
392	816	1252	874
400	812	1310	874

Cette troisième courbe se détache des autres déjà vers $E > 350$ μ et prend une pente beaucoup plus rapide que les précédentes.

L'ensemble des courbes correspondant à ces chiffres confirme les résultats obtenus sur le quartz. Il existe une région où les valeurs de x sont identiques, puis x augmente très vite avec les petits disques, augmentation qui prouve le fait que la formule $C = \frac{S}{4\pi E}$ n'est réellement valable, en dehors de toute autre considération, que si le rapport entre l'épaisseur d'air séparant les armatures et le rayon de celles-ci est au plus 1/6. C'est le rapport qui est généralement admis ; lorsqu'on le dépasse, il faut s'attendre à des divergences.

RÉSUMÉ

Ce travail a eu pour objet d'étudier et d'appliquer les battements électriques de deux circuits oscillants. La principale application que j'en ai faite est la réalisation d'un dispositif sensible aux mouvements du sol et permettant d'inscrire avec précision l'heure d'arrivée d'une onde élastique.

I. Le montage qui dérive du condensateur microphone, imaginé par E. Rothé, est formé de deux circuits d'ondes entretenues agissant sur un même circuit induit ; l'ensemble constitue une sorte de double *hétérodyne*. L'emploi d'un appareil enregistreur (oscillographe) a rendu possible une bonne inscription mécanique, condition essentielle à l'application pratique en séismologie.

II. J'ai étudié en détail et réussi à éliminer les causes parasites qui nuisaient à la stabilité et suis arrivée, en couplage lâche, à la rendre telle que le nombre de battements a pu devenir constant : par exemple, rester compris entre 116 et 118 pendant une durée de 257 secondes.

III. La stabilité étant assurée, j'ai étudié les battements eux-mêmes, leurs conditions de formation, et déterminé le couplage des circuits permettant de se rapprocher le plus possible de la formule simple $dn = \pm \frac{1}{2} N \frac{dC}{C}$ qui relie la variation du nombre des battements à celle de la capacité d'un des circuits oscillants.

IV. J'ai fait construire un condensateur plan pour obtenir le déplacement de l'armature supérieure avec une précision au moins égale à 2 μ.

V. J'ai exposé différentes méthodes susceptibles d'être utilisées pour la détermination des constantes diélectriques ; celles que j'ai employées m'ont montré dès les premières mesures que la valeur de la constante diélectrique obtenue pour des distances différentes des armatures n'était pas la même. J'ai été amenée ainsi à

établir par le calcul et graphiquement la relation entre e, épaisseur de la lame étudiée, et E, épaisseur d'air, pour une certaine longueur d'onde et pour une variation connue du nombre des battements. J'ai aussi cherché à fixer les conditions d'application de la formule simple des condensateurs plans et à déterminer les influences parasites possibles du montage. J'ai appliqué la formule de Kirchhoff pour interpréter expérimentalement les résultats sur l'influence de la forme et de l'épaisseur des armatures.

La discussion de ces faits m'a conduite à cette conclusion importante que, dans la mesure de la constante diélectrique des solides, la forme des armatures n'intervient pas, pourvu que l'armature supérieure du condensateur plan utilisé se trouve placée au voisinage de la lame à étudier. Les mesures ainsi faites offrent donc toute la sécurité désirable.

Les mesures des constantes diélectriques du quartz, exécutées par la méthode de compensation sur sept lames parfaitement taillées par un spécialiste dans de beaux cristaux de choix, m'ont fourni les trois valeurs caractéristiques suivantes :

4,64-4,66 pour les lames taillées parallèlement à l'axe optique et perpendiculairement à un axe électrique (lame piézo-électrique) ;

4,77 pour une lame taillée parallèlement à l'axe optique et parallèlement à un axe électrique ;

4,88 pour les lames taillées perpendiculairement à l'axe optique.

J'ai rappelé les expériences antérieures, notamment celles de Curie, et comparé mes résultats à ceux des auteurs précédents.

VI. J'ai montré la possibilité de construire un *séismo-condensateur*, appareil donnant automatiquement, avec une grande précision, l'époque du premier impetus d'une onde transmise par le sol, en utilisant soit la plongée d'un diélectrique entre les armatures, soit le déplacement d'une armature du condensateur. Ce deuxième dispositif a été réalisé pratiquement et j'ai obtenu des inscriptions dont plusieurs ont été publiées à titre d'exemple : chutes de poids, ébranlements causés par des salves de canon et petites explosions que seul, jusqu'ici, parmi tous les séismographes de la station, le pendule sensible à grande masse (19 tonnes) avait pu enregistrer.

VII. La mesure de la constante diélectrique des lames pour diverses fréquences a montré la présence d'anomalies pour celles qui ont été taillées en piézo-électriques et pour celles-là seulement. C'est là un fait expérimental dont l'existence ne me paraît pas douteuse.

Enfin, j'ai signalé la possibilité d'accentuer la sensibilité du séismo-condensateur en mettant à profit les variations importantes de capacité qui sont la conséquence de ces anomalies.

BIBLIOGRAPHIE

(1) Mohorovicic (A.), *Jahrbuch des meteorologischen Observatoriums in Zagreb für das Jahr 1909*, Jahrgang IX, IV. Teil, Abschnitt I : Das Beben vom 8. X. 1909.

(2) Rothé (E.), *Publications du Bureau central séismologique de l'Union géodésique et géophysique internationale.* Série A. Travaux scientifiques, fasc. 1, p. 17. Toulouse.

(3) Mohorovicic (A.), *Ibid.*, fasc. 3, p. 5.

(4) Mohorovicic (S.), *Die reduzierte Laufzeitkurve und die Abhängigkeit der Herdtiefe eines Bebens von der Entfernung des Inflexionspunktes der primären Laufzeitkurve.* II. Mitteilung, Die Ausbreitung der Erdbebenstrahlen in den tiefen Schichten der Erde (Gerlands Beiträge zur Geophysik, XIV, p. 187). Leipzig.

(5) Wadati (K.), *Shallow and deep earthquakes* (Geophysical Magazine, vol. I, N. 4, p. 162 ; vol. II, N. 1, p. 1). Tokyo.

(6) Wrinch (D.) and Jeffreys (H.), *On the seismic waves from the Oppau explosion* (Monthly Notices R. A. S. Geophysical Supplement, vol. I, N. 2, January 1923).

(7) Maurain (Ch.) et Éblé (L.) (C. R. A. S., t. 179, 1924, p. 337).

Maurain (Ch.), Éblé (L.) et Labrouste (H.) (Journal de physique, 6e série, t. VI, 1925, p. 65).

(8) Rothé (E.), Lacoste (J.), Bois (C.), Dammann (Mlle) et Hée (Mme), *Étude de la propagation de l'ébranlement des explosions de la Courtine. Comparaison avec l'explosion d'Oppau* (Publications du Bureau central international de séismologie. Série A. Travaux scientifiques, fasc. 1, p. 82). Toulouse.

(9) Maurain (Ch.) et Éblé (L.), *Sur la propagation des ondes séismiques dans le calcaire* (Annales de l'Institut de physique du Globe de Paris, t. IV, 1926, p. 141). Paris.

(10) Meisser (O.) und Martin (H.), *Zur Registrierung von schnell verlaufenden Vorgängen für geophysikalische Untersuchungen* (Ztschr. f. Geophysik, II, 1926, p. 269). Leipzig.

(11) Maillet (R.), Bazerque (J.), *La prospection du sous-sol* (Annales des mines, octobre 1931). Paris.

Rothé (E.), *Les méthodes scientifiques appliquées en prospection du sous-sol* (Comptes-rendus du Congrès de l'Union des Sociétés industrielles de France). Strasbourg, juin 1931.

(12) Rothé (E.), *Les applications de la télégraphie sans fil.* Paris, 1921.

(13) Fritts (E. C.), *A determination of the dielectric constants of five gases by a high frequency method* (The physical Review, XXIII, 1924, p. 345). London.

(14) Bedeau, *Contribution à la réalisation d'un étalon de faible capacité.* Thèse de Paris, 1926. Paris, E. Chiron, éditeur.

(15) Eccles (W. H.) and Vincent (J. H.) (Proceedings of the Royal Society, series A, vol. 96, p. 455). London.

(16) Vincent (J. H.), *Further experiments on the variation of wavelengths of the oscillations generated by ionic valve due to changes in filament currant* (Proc. Royal Society, series A, vol. 97, 1920, p. 191). London.

(17) Sucksmith (Philosophical Magazine and Journal of Science, vol. XLIII, 6th series, 1922, p. 226). London.

(18) Belz (M.), *The heterodyne beat method and some applications to the physical measurements* (Phil. Magazine, 6th series, vol. XLIV, July 1922, p. 479). London.

(19) Werner (W.) and Keesom (W. H.) (Proceedings of the Section of Science, 1926, 1st part, p. 34). Amsterdam.

(20) Wagstaff, *The application of oscillating valve circuits to the precise measurement of certain physical quantities* (Phil. Mag., January 1924, 6th series, vol. XLVII, p. 66). London.

(21) Rothé (E.) et Remy (A.), *Appareil de synthèse des mouvements périodiques* (Le Journal de physique et le Radium, juillet 1926, série VI, t. VII, n° 7, p. 193). Paris.

(22) Mercier (C. R. A. S., t. 174, 1922, 1, p. 448).

(23) Wolf (Ann. der Physik, 83, 1927, p. 884). Leipzig.

(24) Pellat, *Traité de physique*, t. I, p. 222. Paris.

(25) Ferry, *The inductive dielectric capacity of dielectrics in slowly and rapidly changing electric field* (Phil. Mag., 5 th series, vol. XLIV, 1897, p. 404). London.

(26) Romich und Nowak (Sitzungen der k. Akad. d. Wissensch, 70, II. Abt., 1874, p. 380). Wien.

(27) Boltzmann (Ibid., 1873, p. 81).

(28) Curie (J.), *Recherches sur le pouvoir inducteur spécifique et la conductibilité des corps cristallisés* (Annales de chimie et de physique, 6e série, t. XVII, 1889, p. 385). Paris.

(29) Pellat, *Appareil destiné à mesurer des pouvoirs inducteurs spécifiques des corps solides ou des corps liquides* (Journal de physique, t. IV, 1895, 3e série).

(30) Schmidt, *Bestimmung der Dielektrizitätskonstanten von Krystallen mit elektrischen Wellen* (Annalen der Physik, IV. Folge, Band 9, p. 919). Leipzig.

(31) Starke (H.), *Ueber eine Methode zur Bestimmung der Dielektrizitätsconstanten fester Körper* (Wied. Ann., LX, 1897, p. 629).

(32) Fellinger (R.), *Bestimmung der Dielektrizitätsconstanten von Krystallen im homogenen elektrischen Felde* (Annal. der Physik, IV. Folge, 7, 1902, p. 333). Leipzig.

(33) Graetz und Fromm, *Ueber die Bewegung dielektrischer Körper im homogenen elektrischen Feld* (Wied. Ann., LIII, 1894, p. 85 ; Sitzungsber. der bayerischen Akad., XXIII, 1893, p. 275).

(34) Thornton, *The measurement of dielectric constants by the oscillations of ellipsoids and cylinders in a field of force* (Proc. of the Royal Society of London, series A, LXXXII, 1909, p. 422).

(35) Gagnebin, *Recherches expérimentales sur la variation thermique des constantes diélectriques du quartz cristallisé* (Archives de sciences physiques et naturelles, vol. VI, mai-juin 1924, p. 161). Genève.

(36) Dieterich (A.), *Ueber die Temperaturabhängigkeit der Dielektrizitätskonstante von Quarz Flüssigkeit und Gips* (Ann. der Physik, LXXXI, 1926, p. 523). Leipzig.

(37) Pellat et Sacerdote, *Électrostatique non fondée sur les lois de Coulomb. Forces électriques agissant sur un diélectrique non électrisé* (Journal de physique, 3e série, t. V, 1896, p. 525). Paris.

(38) Jezewski, *Sur la variation des constantes diélectriques et des densités de quelques liquides avec la température* (Journal de physique et le Radium, t. III, série VI, 1922, p. 293). Paris.

(39) Curie (J.), *Recherches sur la conductibilité des corps cristallisés* (Annales de chimie et de physique, VI, 18, 1889, p. 203). Paris.

(40) Rothé (E.), *Principe d'une méthode de détermination précise de la propagation des ondes séismiques* (C. R. A. S., 1923, 1, t. 177, p. 1050).

Procès-verbaux des séances de la deuxième conférence de la section de séismologie de l'Union géodésique et géophysique internationale, Madrid, 1924, p. 113. Toulouse.

(41) Duckert (P.), *Seismophon und neuer Seismograph* (Zwei Erschütterungsmesser. Ztschr. f. Instrumentenkunde, 1926, p. 71). Berlin.

(42) Obata (J.), *An electrical device for the direct recording of acceleration* (Proc. of the physico-mathematical Society of Japan, 3d series, vol. IX, N. 5, 1927, p. 83). Tokio.

(43) Haeno (S.), *The radio-seismograph* (Japanese journal of Astronomy and Geophysics, vol. VIII, N. 2, 1931).

(44) Rothé (E.), Rempp (G.), Lacoste (J.), Bois (Ch.), Hée (Mme A.) et Dammann (Mlle Y.), *Observations faites à l'occasion de l'explosion d'Hagondange par l'Institut de physique du Globe de Strasbourg* (Annuaire de l'Institut de physique du Globe de Strasbourg, 1924, p. 110).

(45) Galitzin (B.), *An apparatus for the direct determination of accelerations* (Proc. Roy. Soc., A 95, 1918, p. 492). London.

(46) Wood (H. O.), *On a piezo-electrical accelerograph* (Bulletin of the seismological Society of America, vol. XI, 1921, p. 15). Stanford University, Cal.

(47) Katô (J.) and Nakamura, *On the piezo-electric accelerometer and its application to the measurements of the velocity of the elastic waves produced by artificial disturbances* (Proc. of the Imperial Academy of Japan, VI, 1930, N. 7, p. 272).

(48) *Le sondage sous-marin par les ultra-sons* (Recherches et inventions, 6e année, 1925, p. 441) ; d'après la Revue hydrographique de novembre 1924.

(49) Leblanc (Maurice), *Les ultra-sons* (Revue générale des sciences, t. XXXVII, 1926, p. 298).

(50) Cady, *The piezo-electric resonator* (Proc. of the Institute of Radio Engineers, t. X, 1922, p. 83).

(51) Cady, *An international comparison of radio wavelength standards by means of piezo-electric resonators* (Ibid., t. XII, 1924, p. 805).

(52) Pierce (Proc. American Academy of Arts and Sciences, vol. LIX, 1923, p. 82 ; vol. LX, 1925, p. 271).

(53) Dye, *Piezo-electric quartz resonator and equivalent electrical circuit* (Proc. Phys. Soc., vol. XXXVIII, 1926, p. 399). London.

(54) Vivié (J.), *Les cristaux en T. S. F.* (Q. S. T., 1927, p. 17).

(55) Jammet (L'onde électrique, 1928, p. 63).

TABLE DES MATIÈRES

Pages

Introduction. — Précision de la mesure du temps dans les travaux actuels de séismologie 1

Chapitre I. — Battements électriques 4

1. Principe de la méthode. Réalisation d'un dispositif sensible aux mouvements et capable d'inscrire le temps avec précision 4
2. Expériences antérieures 5
3. Dispositif utilisé 6
4. Inscription des battements 8

Chapitre II. — Étude de la stabilité du dispositif . . 13

1. Influence de la température 13
2. Influence du mouvement au voisinage de l'appareil . 18
3. Cas d'un couplage lâche 24

Chapitre III. — Étude préliminaire du phénomène des battements électriques 26

1. Forme des courbes de battements 26
2. Mesures électriques des circuits 27
3. Conditions de formation des battements 29
4. Résultats expérimentaux en couplage lâche 32

Chapitre IV. — Emploi de condensateurs a faible capacité et a petite variation pour mesures et méthodes de comparaison 40

1. Description 40
2. Vérification 44

Pages

CHAPITRE V. — DÉTERMINATION DE LA CONSTANTE DIÉLECTRIQUE DU QUARTZ ET DE QUELQUES AUTRES SOLIDES. . 48

1. Applications de la méthode des battements. . . . 48
2. Application directe. 48
3. Application indirecte. Méthode de compensation. . 51
4. Méthode auditive 54
5. Résultats des premières mesures. 55
6. Interprétation des résultats obtenus. 56
7. Valeur de la constante diélectrique du quartz et de quelques autres diélectriques solides pour $\lambda = 260$m. 58

CHAPITRE VI. — UTILISATION DE LA MÉTHODE DES BATTEMENTS EN SÉISMOLOGIE. 65

1. Séismographes ou séismoscopes fondés sur les oscillations électriques. 65
2. Conditions à réaliser. 67
3. Première méthode. Déplacement du diélectrique. . 67
4. Deuxième méthode. Déplacement d'une armature. Premiers essais 69
5. Description d'un séismo-condensateur. 70
6. Étude de différentes lames. 71
7. Amortissement 74
8. Agitation microséismique. 75
9. Inscription de perturbations diverses 78
10. Inscription de chutes de poids 80

CHAPITRE VII. — USAGE DU QUARTZ PIÉZO-ÉLECTRIQUE EN GÉOPHYSIQUE APPLIQUÉE. 82

1. Historique 82
2. Usage d'une lame piézo-électrique dans le dispositif des battements 83
3. Variation de la hauteur compensatrice x des lames parallèles avec la longueur d'onde. 84
4. Interprétation possible. 86
5. Calcul et représentation graphique des variations de capacité du condensateur plan avec quartz piézo-électrique et air. 88
6. Conclusions relatives aux lames piézo-électriques. . 89

Pages

ANNEXES

I. Relation entre e et E. 92

II. Considérations sur les conditions d'application de la formule des condensateurs. 97

III. Étude des influences parasites possibles. . . . 99

IV. Interprétation a l'aide de la formule de Kirchhoff. 101

V. Vérification expérimentale du rôle des armatures suivant leur forme et leur épaisseur. . 107

Résumé 111

Bibliographie 114

LA FRÉQUENCE DES TREMBLEMENTS DE TERRE EN ALGÉRIE

(1911-1924)

PAR Mme A. HÉE.
Assistante à l'Institut de Physique du Globe de Strasbourg.

L'Algérie offre au point de vue séismique un réel intérêt, parce que ses séismes, en général de faible intensité, sont particulièrement fréquents. Il n'est donc pas étonnant que les séismologues aient été attirés par son étude dès le siècle dernier.

En 1845, Perrey, dans les *Annales* de l'Académie de Dijon, a entrepris de constituer un catalogue historique des séismes algériens et l'a ensuite complété par les renseignements de correspondants le plus souvent officiers de l'armée d'occupation. Chesneau, en 1892, dans les *Annales* des Mines, a complété ce catalogue et a cherché dans une étude de géographie physique une explication des phénomènes séismiques et de leur répartition. Montessus de Ballore, dans *La Géographie séismologique*, s'est livré à une étude plus approfondie des différents foyers séismiques de l'Algérie et, guidé par des études géologiques comme celles de Suess, a indiqué des causes d'instabilité de cette région africaine.

La séismicité de l'Algérie est donc déjà en partie connue, bien que Montessus de Ballore n'eût pas encore à sa disposition de séries d'observations systématiques sur lesquelles il pût se baser. Ne serait-il pas utile de comparer les résultats des observations antérieures à ceux que fournirait une statistique nouvelle depuis que l'Observatoire d'Alger-Bouzaréah relève régu-

lièrement toutes les observations macroséismiques provenant tant du Service Météorologique, que de la Presse? D'autre part, il semblait intéressant de rechercher s'il serait possible d'appliquer à l'Algérie la méthode japonaise de prévision des séismes intenses, qui consiste à étudier la fréquence des chocs prémonitoires.

C'est dans ce but que j'ai établi la liste des séismes ressentis en Algérie dans l'intervalle de 1911 à 1924. Cette liste renferme : 1° les tremblements inscrits par les séismographes et pour lesquels on possède des renseignements macroséismiques; 2° les séismes uniquement ressentis par l'homme; 3° les séismes enregistrés à Alger-Bouzaréah dont les phases accusent une distance épicentrale inférieure à 340 km. et dont l'épicentre, probablement en Algérie, ne peut cependant être situé avec précision avec les données de cette seule station.

[La distance maximum de 340 km. de l'Observatoire a été choisie pour éliminer les tremblements de terre espagnols, quoique ceux-ci soient en général bien connus. Comme d'autre part les séismes en pleine mer dans le bassin occidental de la Méditerranée sont très rares[1], on peut admettre que les tremblements relevés, en tenant compte de cette distance, appartiennent tous à l'Algérie. Les tremblements d'origine tunisienne ou marocaine se trouvent éliminés par le choix même de cette distance.]

Si nous traçons, en nous basant sur cette liste, la courbe de fréquence annuelle, nous constatons depuis 1921 une croissance rapide de l'activité séismique. Nous relevons pour 1917, 1920 et 1921, 40, 44 et 45 séismes, et pour les trois dernières années nous en comptons 70, 91 et 148[2]. Cette croissance si marquée serait-elle due à l'attention plus grande que l'on apporte à l'observation des phénomènes séismiques? Il ne semble pas qu'il

1. Montessus de Ballore, *Géographie séismologique*, p. 335.

2. Dans ce nombre si élevé entrent 72 répliques du séisme du 5 novembre, répliques enregistrées par les appareils de Bouzaréah, mais non perçues par l'homme; elles ont probablement existé en aussi grand nombre après le séisme de Cavaignac, en 1922, sans être relevées, car l'épicentre était alors trop éloigné de l'Observatoire.

en soit ainsi, je crois plutôt que ces dernières années doivent

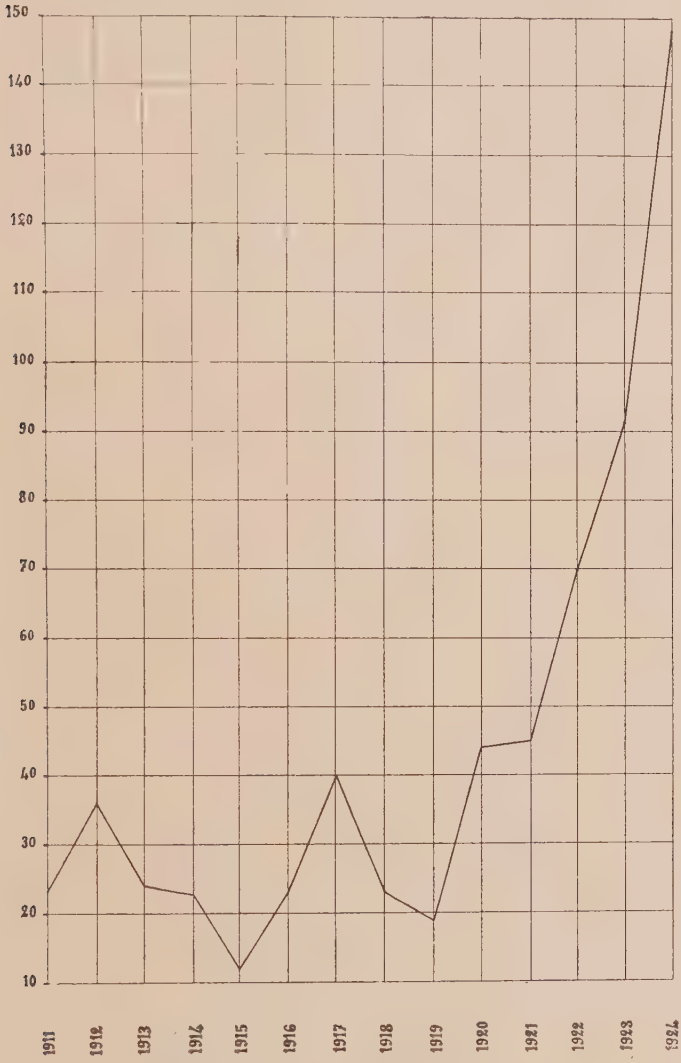


Fig. 1. — *Courbe de fréquence annuelle.*

véritablement correspondre à une période séismique particulièrement intense en Algérie. Par contre, 1915 présente, avec

le nombre 12, un minimum très marqué et l'on pouvait se demander si à cette époque, qui coïncide avec les débuts de la guerre, les observations avaient été suffisamment régulières. Le Service Météorologique d'Algérie, consulté à ce sujet, a répondu affirmativement.

Il n'est pas possible, et l'on devait s'y attendre, par le tracé des courbes de fréquence mensuelle de déterminer des époques de l'année de plus grande ou de moindre séismicité. Aucun mois ne présente le maximum ou le minimum d'une façon régulière, et même il est impossible d'apercevoir une variation régulière du maximum dans un sens déterminé.

L'intensité des séismes est le plus souvent inférieure au degré V de l'échelle internationale. En effet, depuis 1911, sur 621 séismes relevés, on ne compte que 20 secousses de degré V, 9 de degré VI, 4 de degré VII, 1 de degré VIII, 3 de degré IX à X.

Si nous examinons la carte des principaux centres séismiques pendant la période étudiée, nous voyons que ceux-ci se trouvent en grande partie localisés dans la zone délimitée par le littoral et une ligne parallèle à celui-ci située à environ 160 km. de la Méditerranée. On peut y distinguer cinq régions fondamentales : le littoral, l'Atlas Tellien, les Hauts Plateaux, la région du Chott Hodna et les monts de Batna.

L'instabilité du littoral est expliquée[1] par sa situation entre une zone maritime d'affaissement (l'isobathe 2.500^{m} se trouve seulement à 75 km. environ de la côte) et une zone continentale de surrection consécutive à l'ancien géosynclinal, dont les dépôts secondaires et tertiaires forment l'Atlas Tellien. Pendant les périodes géologiques récentes, la région littorale a d'ailleurs été affectée par des mouvements importants. Les travaux de Pommel, de Delage, de Ficheur, du général de Lamothe ont mis en évidence l'existence d'anciennes lignes de rivage assez élevées datant du Pliocène supérieur et du Pléistocène. En dehors des mouvements qui ont provoqué les déplacements de la ligne de rivage, le général de Lamothe attribue à une cause

1. Montessus de Ballore, *loc. cit.*, p. 335.

tectonique la formation de la plaine de la Mitidja[1]. D'après lui, et cette idée a été reprise par E.-F. Gautier[2], ce serait le résultat de l'effondrement dans le sens vertical d'un compartiment de l'écorce terrestre datant de la fin du Pliocène ou du début du Quaternaire. On peut penser que les tremblements de terre qui affectent le voisinage de cette région ne sont peut-être que la répercussion des mouvements orogéniques antérieurs. En tout cas, il serait intéressant de faire, après les principaux séismes, surtout dans la région littorale, des mesures de nivellement, comme cela a été proposé au Congrès récent de Madrid.

L'Atlas Tellien renferme encore, comme dans les périodes précédemment étudiées, des régions très instables. Ce massif, qui fait partie du système montagneux formant la bordure du massif occidental de la Méditerranée, partage l'instabilité des montagnes récentes. Ses plissements ne sont pas homogènes, les uns sont pyrénéens, les autres sont alpins; Gautier voit dans ce manque d'homogénéité une des causes des séismes. Ainsi, d'après lui, le tremblement de terre qui, en 1910, détruisit le village de Masqueray, dans la région d'Aumale, serait dû à la soudure incomplète entre les Bibans (pyrénéens) et les monts Hodna (alpins)[3].

L'étude que j'ai faite confirme l'aséismicité des Hauts Plateaux signalée dans les travaux antérieurs. Montessus de Ballore pensait qu'elle était due à leurs plissements à peine ébauchés. En fait, dans la période étudiée, nous relevons seulement en 1924 un séisme à Reibel, au pied du Djebel ben Hammade, qui est précisément un des accidents les plus importants de cette région élevée. Un séisme à Bourlier a été également signalé en 1923, dans une région voisine de la précédente et située sur le Plateau du Sersou.

La région du chott Hodna, indiquée parmi les régions séis-

1. Général de Lamothe, *Les anciennes lignes du rivage du Sahel d'Alger et d'une partie de la côte algérienne*, Mémoire de la Société géologique de France, 4e série, t. I, mémoire n° 6, pp. 250-251.

2. E.-F. Gautier, *Structure de l'Algérie*, Société de Géographie, 1923, pp. 156-157.

3. E.-F. Gautier, *loc. cit.*, p. 167.

miques de l'Algérie, ne s'est montrée instable qu'en 1924.

Les monts de Batna, au contraire, ont montré une fréquente instabilité; en outre l'une des secousses a été très violente, comme nous le verrons plus loin.

J'ai mis à part l'Atlas Saharien; on l'attribue tout entier à l'époque pyrénéenne; sa stabilité est remarquable, il ne compte qu'un seul séisme en 1921, à Biskra, au pied du Djebel Aurès.

Il aurait été intéressant de pouvoir grouper les principaux centres séismiques suivant des régions bien caractérisées. Chesneau, dans le même ordre d'idées, avait relevé deux zones distinctes par la direction de leurs plissements et délimitées par une ligne allant du Djebel Aurès à Ténès. Il avait remarqué une complète indépendance de ces deux régions au point de vue séismique. Les séismes ne se propageraient pas, d'après lui, de l'une à l'autre, et il cite de nombreux cas où des tremblements de terre ressentis fortement dans la province d'Oran sont passés inaperçus dans les provinces d'Alger et de Constantine. Il trouve une confirmation de l'indépendance de ces deux zones dans le fait que les séismes de la Sierra Nevada de 1884 et 1885 ont été ressentis seulement à l'est de Ténès et que celui de Lisbonne de 1755[1] n'a eu un retentissement qu'au Maroc, région appartenant à la même zone de plissements que l'Oranais. Montessus de Ballore signale aussi la vallée moyenne du Chélif comme limite de deux régions dont les séismes seraient indépendants. Je n'ai pu vérifier nettement cette indépendance pour les séismes récents. Il est vrai que Cavaignac se trouve près de la limite des deux régions et le séisme important du 25 août 1922 qui l'a éprouvé s'est étendu d'une part jusqu'à Alger (II) et, d'autre part, jusqu'à Relizane (II et III). Alger est à environ 160 km. de l'épicentre, Relizane à 105 km.; la propagation a été plus restreinte à l'ouest qu'à l'est, mais elle a dépassé la vallée du Chélif. Quant au séisme du 5 novembre 1924, dans la région Douéra-Boufarik, il ne semble pas s'étendre à l'ouest au-delà de Miliana, c'est-à-dire approximati-

1. Fait signalé également par MM. Gentil et Pereira de Sousa, C. R. A. S., Paris, t. CLVII, 1913, pp. 805-808.

vement à 70 km. de la région épicentrale, tandis qu'à l'est les isoséistes ont un peu plus d'ampleur : l'isoséiste III qui passe à Miliana atteint à l'est Fort-National, à 115 km. environ de l'épicentre. Ce fait ne semble pas suffisant pour confirmer la séparation de l'Algérie en deux régions bien distinctes au point de vue séismique et pour considérer la vallée du Chélif comme limite de ces deux régions. Les autres tremblements de terre n'ont pas été assez intenses, ou la surface affectée a été trop limitée, pour qu'ils puissent fournir des vérifications. Quoi qu'il en soit, cette hypothèse ne doit pas être écartée; elle paraît être en rapport avec l'idée émise par Gautier de l'existence d'une faille Laghouat-Médéa qui couperait transversalement l'Algérie.

Cependant actuellement il semble qu'on doive renoncer à une classification rationnelle des principaux centres séismiques. J'ai relevé sur une carte la fréquence des séismes en figurant autour de chaque point affecté une circonférence de rayon proportionnel au nombre des tremblements de terre ressentis en ce point et j'ai considéré, entre 35° et 37° de latitude N, 4° W. et 7° E. longitude de Paris, les quadrilatères sphériques compris entre des méridiens distants d'un degré et des parallèles dont la latitude diffère d'un degré. La partie de l'Algérie de grande instabilité est ainsi divisée en 19 quadrilatères. J'ai relevé dans un tableau les secousses produites dans les 19 portions considérées en notant l'intensité, au moins toutes les fois que cela était possible. Ce tableau met en valeur les régions les plus séismiques et il permet de tenter l'application de la méthode japonaise indiquée ci-dessus.

Il apparaît nettement que le quadrilatère n° 4 est la région où la fréquence atteint son maximum. Il est vrai que sur les 346 séismes relevés pour cette portion, il y en a 105 dont les épicentres ne sont pas déterminés d'une façon précise et dont peut-être un certain nombre n'affectent pas la région considérée; 73 sont des secousses locales qui, avec les 72 répliques du 5 novembre, n'ont été décelées que par les séismographes de Bouzaréah. Déduction faite de ces divers phénomènes, il reste pourtant encore 99 tremblements ressentis par l'homme, chiffre

relativement important par rapport à ceux des autres parties. La séismicité est grande pour toutes les années, sauf pour 1915, 1916, 1919. Une des secousses, celle du 5 novembre 1924, a atteint les degrés IX et X[1], deux répliques ont été au moins de degré VII et une autre de degré VI; enfin en 1911 un tremble-

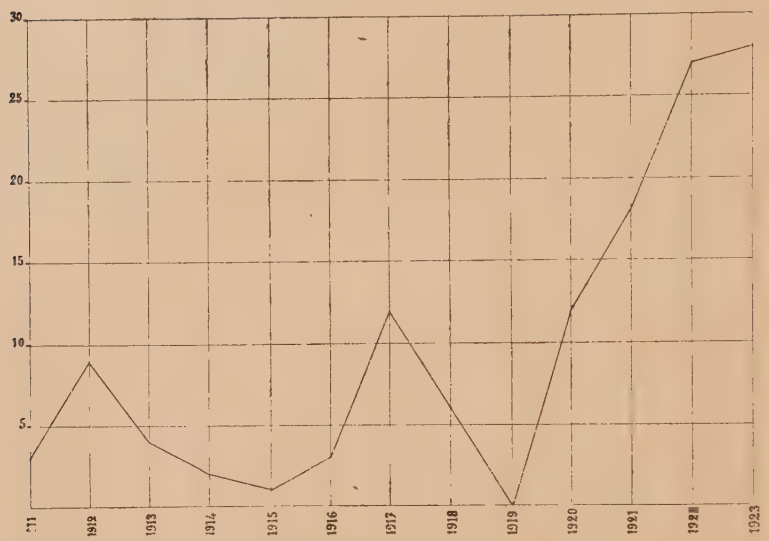


Fig. 2. — *Fréquence des séismes dont les foyers se trouvent à moins de 25 km. de Bouzaréah.*

ment a atteint également le degré VI à Blida. Dans ce quadrilatère on constate que, pendant quelques années précédant la catastrophe du 5 novembre, il y a bien croissance de la fréquence des phénomènes séismiques. Pour plus de précision, j'ai relevé tous les séismes dont les foyers se trouvent à moins de 25 km. de Bouzaréah et j'ai ainsi obtenu la courbe ci-jointe. Il y a croissance rapide de la fréquence depuis 1919; mais comme la courbe contient des maximums secondaires ne correspondant pas à des phénomènes destructeurs, il me paraît

1. Voir l'étude dans l'*Annuaire de l'Institut de Physique du Globe de Strasbourg*, Séismologie, 1924, pp. 95-100.

difficile d'en déduire le moment où la croissance devient une menace. Le centre le plus important de la portion considérée est Bouzaréah. La fréquence y est plus grande qu'à Alger. On ne saurait attribuer cette fréquence au fait que les observateurs y sont plus attentifs qu'ailleurs aux phénomènes séismiques. Il est clair que dans cette comparaison je n'ai pas tenu compte des phénomènes uniquement inscrits par les appareils. L'instabilité de Bouzaréah et d'Alger est attribuée à leur situation dans un des golfes lobés qui caractérisent la côte algérienne. Ces golfes sont particulièrement soumis à de fréquents mouvements séismiques peut-être en rapport avec leur formation; d'ailleurs leur forme a donné lieu à différentes hypothèses sur leur origine. Pour Ficheur et le général de Lamothe, cette forme est due à la simple abrasion de la mer; Suess donne, au contraire, une explication orogénique. Il est à remarquer qu'au cap Matifou on n'a ressenti qu'une seule secousse (en 1920) au cours de toute la période considérée.

El Affroun, et surtout Blida, situés sur le flanc septentrional de l'Atlas Tellien, à la limite des terres alluviales de la Mitidja, du Cartennien et du Gault des hauteurs voisines, ressentent plus aisément et plus fortement les phénomènes séismiques qui sont atténués ou nuls au centre de la plaine[1]. Remarquons aussi que pour El Affroun les secousses sont assez régulièrement réparties dans toute la période considérée, tandis que pour Blida elles sont plutôt groupées. Il ne faut pas oublier que ce dernier point est très tourmenté au point de vue géologique et que la présence du pli renversé de Blida a probablement un rôle dans la séismicité de la région[2]. Dans l'Atlas Tellien se trouvent de nombreux points dont la légère instabilité avait déjà été signalée : ce sont Médéa, Loverdo, Berrouaghia — dans cette dernière localité un séisme en 1911 a atteint le degré V, VI — Lavigerie, Voltaire, Ben Chicao, etc.

Le quadrilatère n° 5 vient après le n° 4 au point de vue de la

1. Voir Chesneau : « Note sur les tremblements de terre en Algérie ». Ann. des Mines, 1892, I, Paris.

2. Montessus de Ballore : « La géographie séismique. » Les pays Barbaresques, p. 333.

fréquence des tremblements de terre. Il compte 65 séismes ressentis dans ces quatorze années. L'un d'eux, en 1911, a été de degré V à Masqueray, et un autre à Aumale, point voisin du précédent, a provoqué en 1923 des lézardes aux murs de quelques maisons (VI). D'ailleurs, la région d'Aumale, y compris Bir Rabalou et Aïn Bessem qui sont à une quinzaine de kilomètres de cette ville, est presque constamment agitée ; il est peu d'années où l'on n'y ait pas perçu une ou plusieurs secousses. Nous avons vu que sa situation au voisinage de la rencontre des Monts Hodna et des Bibans pouvait être la cause de sa grande séismicité[1]. Au nord, dans le Djurdjura et surtout dans la grande Kabylie nous retrouvons la caractéristique des terrains anciens au point de vue séismique, c'est-à-dire que les secousses y sont peu intenses, mais les centres sont très nombreux, les principaux sont : Maillot, Michelet, Haussonvillers, Tizi-Ouzou, Fort-National.

Dans le quadrilatère n° 2 nous relevons 47 séismes, ce nombre important est dû aux répliques du séisme intense de 1922. Les principaux centres sont Tenès, Orléansville, Fromentin. L'instabilité paraît résulter de la nature du sol, terrain tertiaire, très crevassé. La plupart des séismes dans cette région et dans celle du quadrilatère voisin (n° 3) seraient dus au jeu de failles, comme dans le cas du séisme de Cavaignac, 25 août 1922[2]. J'ai encore tracé pour ce quadrilatère la courbe de fréquence des séismes pendant la période étudiée. Cette courbe présente un maximum de 9 en 1914, les premiers tremblements sont de degré III, le dernier un peu plus intense a le degré IV ; mais en réalité la différence d'intensité est trop peu importante pour qu'on puisse en tenir compte. En 1916, on relève six secousses, la plus intense est de degré V, deux secousses plus faibles la précèdent, elle est suivie de trois autres également plus faibles. Ensuite, pendant trois ans, la séismi-

1. Montessus de Ballore donne une autre raison que nous verrons plus loin.

2. MM. A. Brives et Dalloni : « Le tremblement de terre du 25 août 1922 et la structure géologique de la région de Tenès-Cavaignac (Algérie) », C. R. Ac Sc., Paris, t. CLXXV, pp. 527-529.

cité est nulle. Puis, en 1921, il y a trois tremblements. En 1922, le deuxième est désastreux, il provoque alors toute une série de mouvements : quatorze à la fin de 1922, sept en 1923 ; dès 1924, la région redevient stable. L'accalmie manifestée pendant les années 1918, 1919, 1920 ne semblait pas faire pré-

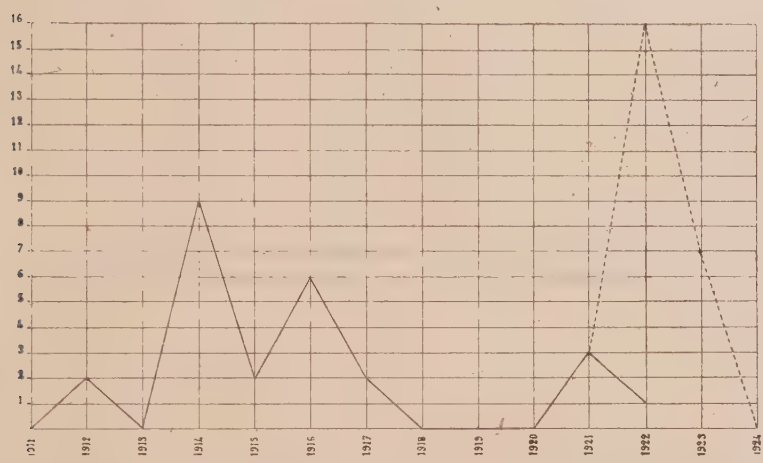


Fig. 3. — *Fréquence des tremblements de terre dans la région de Tenès.*

voir la catastrophe de 1922, cependant il est à remarquer que pendant l'année 1921 il y a trois séismes qui semblent être l'indice d'une nouvelle période instable. Si la période étudiée était plus longue il serait peut-être possible de tirer des remarques plus nettes au sujet de la répartition des phénomènes séismiques dans cette région.

Bien que le quadrilatère n° 3 ne compte que 26 séismes, je cite tout de suite ses principaux centres séismiques afin de ne pas les séparer de la région n°2, dont il partage la constitution géologique : Cherchel, situé sur un des golfes lobés est un des foyers principaux. En 1920, un séisme qui fut ressenti jusqu'à Duperré, dans la vallée moyenne du Chélif, y a atteint le degré VI. Sur la côte nous relevons encore Gouraya connu par le désastre de 1891[1]. Vers le sud, nous trouvons Marengo, Hano-

1. 15 et 16 janvier 1891, Gouraya et Villebourg.

teau, Carnot, Miliana et, sur l'autre rive du Chélif, Oued Fodda pour lequel nous comptons dix secousses en 1914 qui furent d'ailleurs ressenties également à Orléansville, mais ne se propagèrent pas sur l'autre rive d'après les renseignements recueillis.

Les quadrilatères n° 6 et n° 7 comptent l'un 39 séismes perçus, l'autre 37. Dans l'un et l'autre nous relevons sur le littoral comme points instables Port Gueydon, Oued Marsa et surtout Bougie et Djidjelli qui se trouvent sur des golfes ayant la forme lobée caractéristique, dont j'ai déjà parlé. A Bougie, en 1912, se produisit un tremblement de degré VI. Ensuite nous remarquons un centre actif commun aux deux régions formé par Kerrata, Amoucha, Coligny, Tizi N' Béchar et Takitount. Kerrata et Tizi N' Béchar sont des points très voisins (9 km. environ de distance), situés tous les deux sur l'Oued Agrioun, ce sont les centres les plus instables. Signalons que leurs secousses sont le plus souvent indépendantes les unes des autres. Ainsi de 1911 à 1922, Kerrata est constamment agité, Tizi N' Béchar n'est pas relevé, tandis qu'à partir de 1922 pour cinq secousses à Kerrata nous en relevons vingt et une à Tizi N' Béchar et, alors qu'une seul séisme est signalé assez violent à Kerrata en 1924, les secousses de Tizi N' Béchar dans cette même année ont presque toutes été accompagnées de la mention forte ou violente. Parmi les autres principaux centres d'activité séismique de ces deux régions nous relevons Mansoura, Bordj-bou-Arréridj, Tixter et Sétif. Dans cette dernière localité un séisme a été de degré VI en 1913. Montessus de Ballore considère ces points situés sur le flanc sud de l'Atlas Tellien comme appartenant à une ligne allant de Boghar à Guelma correspondant à un géosynclinal relevé, encore instable. Aumale ferait précisément partie de cette région séismique.

Le quadrilatère n° 8 fournit pour la période étudiée 23 séismes, l'instabilité y a été assez grande, les principaux centres sont : El Arrouch, Jemmapes, Condé-Smendou, Constantine. Un seul séisme a été de degré V en 1913 à Aïn-Smara, près de Constantine.

Dans le quadrilatère n° 9 nous relevons particulièrement Bône et Guelma ; en 1913, à Bône, l'intensité a été VI.

La région instable d'Oran, comprenant les quadrilatères n° 10 et n° 11, vient ensuite. Elle compte 7 séismes pour l'un, 32 pour l'autre. Sur le littoral les principaux points affectés sont : Oran, Arzew, Mostaganem. Entre Oran et Arzew, vers le sud, nous relevons de nombreux centres séismiques très rapprochés : Kléber, Saint-Cloud, Fleurus, etc. En 1913, une forte secousse de degré V à VII a été ressentie à Oran, Fleurus, Tlélat, Perrégaux, des murs ont été lézardés et des bâtiments se sont effrondés. Le degré VII a été aussi constaté en 1912 à Arzew. En 1915, à Tlélat-Saint-Lucien des murs ont été abîmés (V). Pour cette région Montessus de Ballore croit que les mouvements séismiques sont probablement dus à l'existence de la Sebka de Misserghin et, d'autre part, aux dislocations et bouleversements géologiques de la région.

Le quadrilatère n° 12 ne compte que 12 séismes ; le point le plus important est Relizane, son instabilité a surtout été notable en 1913, 1919 et 1924, l'intensité n'a pas dépassé IV; à Zemmora, centre voisin, on relève le degré V en 1919, et à Prévost-Paradol et Tagdempt des murs ont été lézardés. D'ailleurs ce séisme s'est propagé plus au sud jusqu'à Saïda. Une secousse est signalée en 1924 à Aïn el Hadjar, près de Saïda, ce sont les points séismiques les plus éloignés de la côte, ils appartiennent du reste encore au flanc méridional de l'Atlas Tellien.

Le quadrilatère n° 13 contient Bourbaki et Taza et le quadrilatère n° 14 Boghari, situé entre les Monts de Boghar et le Titteri ; le n° 15 renferme Bou Saâda signalé par Montessus de Ballore comme susceptible de secousses assez violentes ; mais cette ville n'a pas été mentionnée de 1911 à 1924. Nous n'avons qu'un séisme en 1924 à Sidi Aïssa, point situé plus au nord. La région du Chott Hodna, n° 16, reconnue instable, n'a bougé qu'en 1924 où l'on relève quatre secousses à M' Sila, dont l'intensité n'est pas indiquée, et cinq faibles secousses consécutives à Cérez, région de M' Sila.

Dans le quadrilatère n° 17 le principal centre est Batna, un ésisme important de degré IV s'y est produit en 1924. Dans ce

cas les secousses sont groupées, mais la plus forte est suivie de répliques sans qu'il y ait eu de phénomènes prémonitoires nets.

Enfin les quadrilatères n° 18 et n° 19 sont de très faible séismicité, les centres indiqués sont Khenchela, sur la pente septentrionale de l'Aurès, Clairfontaine, auprès de l'oued Mellègue, et l'Ouenza.

De cette étude nous pouvons conclure que les principales régions qui furent signalées comme instables dans les travaux précédents sont encore parmi les plus séismiques pour la période 1911-1924, on peut peut-être faire exception de la région du Hodna, dont l'activité ne s'est manifestée qu'en 1924. Il ne semble pas aisé d'établir un lien plus étroit entre la géologie de l'Algérie et ses phénomènes séismiques par le fait que les renseignements macroséismiques ne sont ni nombreux, ni assez précis. Déjà pour le séisme du 5 novembre 1924, les observations du service météorologique ont été complétées par celles de nombreux instituteurs et il est devenu possible de tracer les isoséistes. Quand ce tracé pourra être exécuté pour les principaux séismes, il deviendra intéressant de comparer la propagation du mouvement à la constitution géologique de la région affectée.

Il ne semble pas d'après les résultats publiés ci-dessus que l'on ait pu à l'avance prévoir le séisme de Cavaignac d'une façon certaine ou même probable bien que des signes précurseurs aient été constatés (3 séismes en 1921, après trois ans d'accalmie). Pour le séisme du 5 novembre, la séismicité a nettement crû pendant les années précédant le désastre, la méthode de prévision proposée semble s'appliquer davantage, remarquons que dans ce cas les appareils de Bouzaréah ont fait connaître des secousses faibles, imperceptibles aux sens. Des mouvements analogues très faibles ont pu précéder les autres séismes importants et ils sont restés inaperçus, faute d'appareils. Peut-être obtiendrait-on des indices plus certains si on disposait d'une part d'inscriptions de séismographes plus nombreuses, et si, d'autre part, la période d'observation était de plus longue durée.

Il faut bien reconnaître que les séismes d'Algérie n'ont pas l'importance des séismes japonais, leurs origines et leurs phénomènes préliminaires peuvent ne pas être comparables et il n'est pas étonnant qu'une méthode qui a donné au Japon des résultats encourageants ne conduise dans le cas de l'Algérie qu'à des résultats douteux. D'ailleurs elle conviendrait peut-être mieux si on pouvait l'appliquer à des régions bien définies au point de vue séismique, c'est-à-dire à des régions dont l'instabilité est due à une même cause géologique (les tremblements algériens sont très probablement d'origine tectonique), plutôt qu'à des régions dont les limites sont purement géographiques.

Je tiens à exprimer ma vive gratitude à M. Gonnessiat, directeur de l'Observatoire d'Alger-Bouzaréah ; cette étude n'a été en effet possible que grâce aux *Bulletins mensuels* de cet Observatoire. J'adresse aussi mes remerciements à M. Lasserre, directeur du Service Météorologique d'Algérie, dont le service a fourni la plupart des renseignements macroséismiques, ainsi qu'à M. le Recteur de l'Académie d'Alger qui a bien voulu assurer au Bureau Central le concours des instituteurs.

REMARQUES

Lorsqu'un séisme s'est étendu sur plusieurs quadrilatères, un chiffre en indice du numéro d'ordre de l'année indique les autres quadrilatères affectés.

Lorsque P, *e*P ou *i*P accompagne l'indication d'heure, il s'agit de l'heure donnée par les appareils d'Alger.

Dans le quadrilatère n° 4, j'ai reporté les séismes inscrits par les appareils de Bouzaréah à épicentre non déterminé; les distances entre parenthèses accompagnées de l'heure des L ont été déterminées approximativement en comparant aux séismes dont les distances ont été déterminées à l'Observatoire.

« Bouzaréah inscrit » correspond aux séismes désignés le plus souvent dans le bulletin d'Alger-Bouzaréah par « secousse locale ».

La carte a été copiée sur celle de l'Algérie-Tunisie de l'Atlas universel de géographie de Vivien de Saint-Martin et Schrader; mais l'orthographe adoptée est celle de la carte de l'Algérie du Nord 1905, dressée par le Gouvernement Général de l'Algérie, quelques noms cependant n'y figurent pas, dans ce cas on a pris l'orthographe donnée par l'Observatoire; l'on a conservé *h* à Bouzaréah.

La carte est incomplète pour le quadrilatère n° 4, tous les points affectés le 5 novembre 1924 n'ont pas été indiqués pour éviter la confusion. Une carte complète accompagne l'étude de ce séisme dans l'annuaire de l'Institut de Physique du Globe 1924.

Tous les points affectés par le séisme du 5 novembre 1924 ne sont pas relevés dans les tableaux. Voir étude spéciale dans l'annuaire de l'Institut de Physique du Globe 1924.

Les lettres (SM) signifient Service Météorologique.

La distance de l'épicentre à l'Observatoire de Bouzaréah est exprimée en Km. Elle est indiquée par $d =$ nombre de Km. quand la secousse est accompagnée de renseignements macroséismiques; elle figure au commencement de la ligne lorsqu'il n'y a pas de renseignements macroséismiques.

LISTE DES SÉISMES DES DIFFÉRENTS QUADRILATÈRES

POUR LA PÉRIODE 1911-1924

Quadrilatère nº 1.

1919

1	Cap Ivi (SM)	9 août	P	23	43	02	$d = 300$

1921

1	Cap Ivi (SM), NS	21 avril	vers	1	45		

Quadrilatère nº 2.

1912

1	Ténès V, vibratoire	28 févr.	*i*P	4	52	04	$d = 150$
2	Ténès III	28 févr.		5	02		

1914

1_3	Orléansville III	16 févr.	*i*P	23	06	24	
2_3	Orléansville	16-17 févr.	dans la nuit.				
3_3	Orléansville	16-17 févr.	dans la nuit.				
4_3	Orléansville III	18 févr.		0	40		
5	Orléansville III	19 févr.		4	5		
6	Orléansville III	»		4	45		
7	Orléansville III	»	*e*P	6	3	26	
8	Orléansville III	»		7			
9	Orléansville IV	23 févr.		1	15		

1915

1_2	Ténès	4 août	*e*P	3	20	30	
2_2	Ténès	4 août	*e*P	3	33		

1916

1	Ténès III	21 févr.		18	45	
2	Ténès III	5 mars		12	30	
3	Ténès V	15 mars		12	00	
4	Ténès III	18 mars		23	30	
5	Ténès IV	13 mai		2	10	
6	Orléansville III	5 août	vers	1		

1917

1	Fromentin	3 avril		16	28	
2	Fromentin	3 avril		22	55	

1921

1	Ténès (SM)	24 sept.	vers	2	15	
2	Ténès (SM)	8 oct.	vers	2	40	
3	Ténès (SM)	8 oct.	vers	7	45	

1922

1	Ténès, 6 s., NW-SE (SM)	7 févr.	vers	23	25		
2	Cavaignac détruit IX à X, Chasseriau, Ténès VIII, Khalloul, Talassa, Montenotte(1), etc. Fromentin, secousse violente NW-SE, dégâts matériels. Orléansville, deux secousses, durée 5 s. chacune à 1 s. d'intervalle, la première WE lente, la deuxième, N-S plus brusque, l'horloge de la ville s'est arrêtée. Ténès, fortes secousses, durée 15 s. environ, direction NE-SW, beaucoup de maisons lézardées	25 août	*i*P	11	47	49	$d = 180$
3	Cavaignac (presse)	27 août	vers	10	00		
4	Cavaignac (presse)	28 août	vers	10	40		
5	Chasseriau, forte secousse précédée d'un grondement souterrain, quelques dégâts matériels	29 août	dans la matinée.				
6	Fromentin, région Ténès (SM)	15 oct.	vers	14			
7	Fromentin (SM)	18 oct.	vers	18	20		
8	Fromentin VIII, Cavaignac, Ténès, Orléansville	19 nov.	P	19	04	56	$d = 230$

(1) Étude dans l'annuaire de l'Institut de Physique du Globe de Strasbourg, deuxième partie, Séismologie 1922, pp. 65-67.

9, 10, 11, 12, 13, 14, 15. Fromentin, 7 répliques	19 nov.	pendant la nuit.				
16 Fromentin (SM)	15 déc.	vers	8	10		

1923

1 Fromentin (SM)	25 janv.	vers	22	10		
2 Fromentin (SM)	13 févr.	vers	4	10		
3 Fromentin	19 févr.	vers	17	00		
4 Ténès, 3 s. (SM)	4 avril	vers	14	30		
5 Chasseriau, région Ténès	15 mai	*e*P	3	38	58	$d = 150$
6 Ténès, 5 s. (SM)	18 juin	vers	9			
7 Chasseriau (SM)	19 juin	vers	20			

Quadrilatère n° 3.

1911

$1_{5,4}$ Cherchel III	7 janv.	V_1(1)	1	32	52	
2 Cherchel IV	10 janv.		5	35		

1914

1_2 Oued Fodda IV, avec grondements souterrains	16 févr.	*i*P	23	06	24	
2_2 et 3_2 Oued Fodda	16-17 févr.	dans la nuit.				
4_2 Oued Fodda, trois secousses	18 févr.		0	40		
5 Oued Fodda IV	18 févr.	*e*P	12	04	02	
6_2, 7_2, 8_2, 9_2, 10 Oued Fodda, cinq secousses faibles (quatre correspondent probablement aux secousses d'Orléansville)	19 févr.	(heure non indiquée).				
11_4 Miliana, V à III	3 févr.		7	15		

1915

1_2 Hanoteau IV	4 août	*e*P	3	20	30	
2_2 Hanoteau V, vieilles maisons lézardées, population sur pied	4 août	*e*P	3	33	00	

1916

1_2 Bou-Bara III	5 mars		12	30		
$2_{4,5,6}$ Cherchel	18 oct.	P	3	15	35	

(1) Les ondes P sont appelées V_1, dans ce bulletin.

1917

1 Carnot (SM)	10 mars	P	17	12	13	$d = 100$

1920

1_4 Cherchel VI, Duperré	7 oct.	P	7	12	38	$d = 110$

1921

1 Cherchel	18 mai	vers	0	10		
2 Cherchel, forte secousse	18 mai	P	0	40	11	$d = 80$
3 Cherchel (Dépêche algérienne)	18 mai	vers	1	10		

1922

1_2 Cherchel, Hanoteau, Flatters	25 août	*i*P	11	47	49	$d = 180$

1923

1 Gouraya IV (presse)	30 janv.	*e*P	6	30	25	$d = 70$
2 Cherchel (presse)	20 févr.	vers	3	30		

1924

1_4 Cherchel, Miliana, Marceau	5 nov.	P	18	54	34	

Quadrilatère n° 4.

1911

$1_3, _5$ Alger IV, Blida, Berrouaghia	7 janv.	V_4	1	33	52	
2 Bouzaréah III, secousse brusque	5 mars	V_4	10	21	12	
3 Bouzaréah III	20 mars	V_4	18	12	20	
$d = (150)$ L $6^h53^m31^s$	24 févr.	P	6	53	13	
4 Ressenti pendant 10 s. dans la région d'Alger, Blida, El Affroun, ligne de Berrouaghia V à VI	11 juillet	P	1	22	0	
$d = (30)$ M 1 25 27	11 juillet	P	1	25	23	
5 Blidah III, vibratoire	27 août	P	9	52	02	
6 Meurad, près de Blida III, trépidatoire	25 oct.	P	15	25	18	

1912

1 Blida, El Affroun IV, vibratoire $d = 50$	1 janv.	*i*P	6	16	06	
2 Blida III (changement de feuille)	1 janv.		8	07		
3 Blida III	1 janv.	*i*P	15	22	11	
Bouzaréah, vibratoire inscrit seulement	3 févr.	*i*P	6	08	10	
Bouzaréah, inscrit	15 févr.	*i*P	20	48	35	
4 Bouzaréah IV	19 févr.	*i*P	17	38	26	

5_8	Bouzaréah III	3 mars	*i*P	18	45	19
6	Bouzaréah, Alger III	16 avril	*i*P	23	45	35
	Bouzaréah, vibratoire, inscrit	25 juin	*i*P	18	43	06
7	Bouzaréah. trépidatoire III enregistré par le barographe à poids	8 août	*i*	18	11	01
	Bouzaréah, inscrit	25 août	*e*P	21	08	45
	$d = (100)$ *i*L 20 52 34, vibratoire	8 oct.	P	20	52	22
	Bouzaréah, inscrit	17 oct.	*e*P	8	47	30
	$d = (175)$ *i*L 4 37 58, vibratoire	24 oct.	*i*P	4	37	37
	$d = (100)$ *i*L M 17 09 30	1er nov.	*i*P	17	09	18
	Bouzaréah, inscrit	16 nov.	*i*P	12	22	00
	$d = (60)$ L 23 22 42	14 déc.	*i*P	23	22	35

1913

	Bouzaréah, inscrit	10 janv.	*i*P	13	10	12
1	Bouzaréah III, secousse marquée par le barographe à poids	18 janv.	*i*P	23	08	05
2	Bouzaréah III	14 févr.	*i*P	18	44	26
	Epicentre peu éloigné (pas d'indication de phase)	1er mai	*i*P	7	22	37
	$d = (180)$ *i*L 6 47 15	27 mai	*e*P	6	46	53
3	El Affroun IV, Bouzaréah III	19 juin	*i*P	7	42	48
	$d = (200)$ *i*L 18 38 43	31 juillet	*e*P	18	38	18
	Bouzaréah, inscrit	2 sept.	*i*P	19	33	55
4	Bouzaréah III	21 nov.	*i*P	15	09	37

1914

1_3	Séisme ayant son foyer près Blida et ressenti le long des deux coupures de l'Atlas vers Médéa et Miliana, à Bouzaréah, perçu un faible mouvement ondulatoire	3 févr.		7	15	
	$d = (50)$ L 22 23 00	26 févr.		22	22	54
	$d = (100)$ L 9 47 02	13 avril		9	46	50
2	Loverdo IV	20 avril	*i*P	1	49	27
3_{14}	Bouzaréah II	29 avril	*i*P	23	14	17
4	Bouzaréah III	15 mai	*i*P	2	30	06
	Bouzaréah, inscrit	22 juillet	*i*P	10	38	27

1915

	30 km	3 févr.	*i*P	13	23	36
	60	8 févr.	*i*P	13	16	36
	Bouzaréah, inscrit	7 mars	*i*P	15	32	43
	(80)	14 juin	*i*P	11	59	49
	(50)	27 juin	*i*P	17	44	27
	40	31 déc.	P	20	15	06

1916

	Bouzaréah, inscrit		5 mai	P	9	34 50
	50		17 août	*i*P	12	56 46
	60		28 sept.	*i*P	2	52 44
	40		29 sept.	P	20	36 42
1_{3}, $_{5}$, $_{6}$	Observatoire Bouzaréah VI le baromètre à poids a fait une oscillation de 16 cm. Aire d'ébranlement très étendue		18 oct.	P	3	15 35
	Bouzaréah, inscrit		30 oct.	*i*P	14	20 36
	(330)		25 déc.	P	10	28 38

1917

1_{8}	Observatoire IV (on ressent les P), Grande Kabylie	$d = 50$	29 janv.	P	8	41 55
2	Observatoire III (on ressent les P)	$d = 50$	29 janv.	P	9	16 48
	50		29 janv.	P	9	23 54
	60		30 janv.	P	14	37 52
	60		1er févr.	P	16	57 01
	40		18 mars	P	10	48 08
3	Lavigerie (SM.)	$d = 80$	26 avril	P	6	22 05
	180		27 avril	*e*P	11	21 04
	15		29 mai	P	10	39 09
	140		29 mai	P	10	41 01
4	Mongorno III, 40 km. (SM)	$d = 40$	13 juin	P	21	29 57
5	Mongorno V, Ben Chicao VI (SM)	$d = 160$	14 juin	P	18	31 43
6	Observatoire III	$d = 15$	15 juin	P	12	10 14
	160		28 juill.	*i*P	6	51 20
	10		24 août	P	18	17 45
	280		2 sept.	P	3	43 00
	Bouzaréah, inscrit		4 sept.	P	19	08 09
	Faibles séismes locaux, inscrits		27 sept.	*e*P	7	19 09
	—			*e*P		22 14
	—			*e*P		54 24
	—			*e*P	8	06 15
	140		29 sept.	P	9	27 30
	300		3 oct.	*i*P	16	41 47
	Bouzaréah, inscrit		10 oct.	*i*P	20	50 33
7	Observatoire IV	$d = 60$	15 oct.	P	1	1 59
	Bouzaréah, inscrit		25 oct.	*i*P	15	44 49
8	Observatoire IV	$d = 80$	9 déc.	*i*P	2	05 00
	15		19 déc.	P	15	11 40
	80		21 déc.	P	18	41 44
	Bouzaréah, inscrit		23 déc.	P	20	11 28

1918

	8 km	4 janv.	P	13 02 05
1	Observatoire III $d = 0$	7 janv.	PL	13 01 04
	Bouzaréah, inscrit	5 févr.	P	9 12 11
	90	19 févr.	*i*P	12 30 00
	Bouzaréah, inscrit	7 mars	*i*P	12 52 10
2	Observatoire IV, Chebli IV, Ben Chicao III. $d = 40$	7 juin	P	10 39 11
	100	18 juin	P	4 06 32
3	Observatoire III, Cap Caxine (SM) $d = 15$	15 juill.	P	11 53 26
	100	11 août	P	17 20 34
	Bouzaréah, inscrit	31 août	P	18 09 17
	50	11 oct.	P	8 29 02
	40	26 oct.	P	0 05 39
	190	2 déc.	P	0 18 46

1919

1	Dely Ibrahim	9 avril		2 30	
	150	16 mars	P	9 43 35
	60	24 mai	*e*P	4 13 12
2	Alger IV, El Affroun	13 sept.	P	11 37 22
	80	18 sept.	P	12 40 33
	80	19 nov.	P	1 26 30

1920

1	Hakou-Féraoune (SM) $d = 40$	12 févr.	P	10 19 33
2	El Affroun, 3 s.; Ameur-el-Aïn, 3 s. (SM) $d = 80$	14 avril	P	0 31 54
	140	18 avril	P	14 27 47
	50	19 mai	P	4 51 20
	Bouzaréah, inscrit	31 mai	*e*P	7 11 03
	30	23 juin	P	19 43 07
	60	1er juill.	P	22 33 16
	60	2 juill.	P	6 54 47
	80	8 juill.	P	9 03 15
3	Bouzaréah III	26 juill.	P	16 52 12
	90	26 juill.	P	17 52 22
	250	30 juill.	*e*P	3 26 22
	60	25 sept.	P	13 39 33
	50	25 sept.	P	18 48 38
	200	5 oct.	P	22 09 04
4	Bouzaréah IV, Blida, El Affroun (SM)	7 oct.	P	7 12 38

5$_8$	Bouzaréah IV	$d = 80$	12 oct.	P	0 49 00
	$d = (4)$ L 20 12 3,0		9 déc.	P	20 12 2,5
	$d = (4)$ L 20 15 40,0		9 déc.	P	20 15 39,5
6	Alger, Bouzaréah IV, Cap Caxine		9 déc.	P	20 12 22,0
7	Alger, Bouzaréah II		9 déc.	P	20 45 24
8	Alger, Bouzaréah II		9 déc.	P	21 15 44,5
9	Alger, Bouzaréah IV, Cap Matifou		16 déc.	P	0 16 56,0
10	Alger, Bouzaréah III	$d = 4$	16 déc.	P	17 08 4,5
11	Alger, Bouzaréah V	$d = 4$	24 déc.	P	13 06 15,5
12	Alger, Bouzaréah III	$d = 4$	26 déc.	P	7 10 40,0
13	Alger, Bouzaréah III	$d = 4$	27 déc.	PL	17 21 36

Les dix séismes locaux qui ont été enregistrés pendant ce mois de décembre semblent issus d'un même foyer. La zone d'ébranlement ne s'est guère étendue au delà d'un rayon de 20 km. autour d'Alger.

1921

	Bouzaréah, inscrit		4 janv.	P	21 20 29
	Bouzaréah, inscrit		22 janv.	P	1 27 41
	Bouzaréah, inscrit		22 janv.	P	10 02 37
	Bouzaréah, inscrit		22 janv.	P	11 59 37
	Bouzaréah, inscrit		23 janv.	P	5 41 22
	220		2 févr,	P	15 17 43
	4		13 févr.	P	8 22 08
1	Bouzaréah, Alger V, grondement souterrain, ...	$d = 4$	13 févr.	P	8 25 20
	4		17 févr.	P	21 34 41
2	Lavigerie, deux secousses à 2 s., N.-S. (SM); Voltaire IV, durée 5 à 6 s. (Dépêche algérienne)	$d = 70$	3 avril	P	6 26 06
	4		7 avril	P	5 28 36
3	Blida IV (Dépêche algérienne)	$d = 40$	18 avril	P	13 42 44
	15		6 mai	P	2 2 27
	260		17 juin	iP	19 53 15
	20		8 juill.	P	23 54 20
4	Tablat (SM)		12 août	vers	23
	Bouzaréah, inscrit		2 sept.	P	23 57 23
	140		16 sept.	P	5 22 25
	30		7 oct.	P	2 41 21
	Bouzaréah, inscrit		10 oct.	P	2 38 26
	15		22 oct.	P	0 29 08
	Bouzaréah, inscrit		2 nov.	P	15 05 11
	Bouzaréah, inscrit		2 nov.	P	16 57 43
	70		19 déc.	eP	14 31 40
	Bouzaréah, inscrit		22 déc.	P	22 33 45
	Bouzaréah, inscrit		29 déc.	P	16 31 19

1922

Bouzaréah, inscrit		4 janv.	P	19	36	33
Bouzaréah, inscrit		9 janv.	P	6	37	33
Bouzaréah, inscrit		9 janv.	P	8	32	23
Bouzaréah, inscrit		9 janv.	P	8	41	16
Bouzaréah, inscrit		3 févr.	P	20	19	18
15		23 févr.	P	2	50	26
40		2 mars	P	3	27	28
Bouzaréah, inscrit		30 mars	P	17	08	46
1 Bouzaréah V	$d = 8$	16 juin	P	10	52	09
8		20 juin	P	23	18	53
8		30 juin	P	20	49	22
Bouzaréah, inscrit		14 juill.	P	21	19	45
Bouzaréah, inscrit		20 juill.	P	18	34	29
Bouzaréah, inscrit		24 juill.	P	18	39	48
15		2 août	P	10	55	45
2 Bouzaréah IV		3 août	P	19	12	40
$3_{2,3}$ Alger II		25 août	iP	11	47	49
5		31 août	P	17	18	38
Bouzaréah, inscrit		2 sept.	P	13	48	07
40		3 sept.	P	11	00	04
Bouzaréah, inscrit		7 sept.	P	18	34	28
Bouzaréah, inscrit		16 sept.	P	16	19	26
Bouzaréah, inscrit		19 sept.	P	16	46	14
Bouzaréah, inscrit		21 sept.	P	11	17	54
Bouzaréah, inscrit		16 oct.	P	6	42	57
10		17 oct,	P	16	47	11
Bouzaréah, inscrit		14 nov.	P	15	49	52
4_5 Rouiba III, Bouzaréah II	$d = 40$	23 nov.	P	12	34	39
5_5 Rouiba II	$d = 40$	24 nov.	P	6	26	20
70		6 déc.	P	9	57	11
Bouzaréah. inscrit		11 déc.	iP	17	29	04
25		25 déc.	P	0	31	45
80		26 déc.	P	18	45	12
Bouzaréah, inscrit		27 déc.	P	17	29	06

1923

1_4 Tablat	$d = 80$	15 janv.	P	4	29	45
Bouzaréah, inscrit		16 janv.	P	14	24	11
50,		20 janv.	P	2	23	48
Bouzaréah, inscrit		21 janv.	P	2	05	52
Bouzaréah, inscrit		8 févr.	P	17	59	07
2_5 Tablat, Bouzaréah II (Presse) (SM)		19 févr.	iP	16	33	39

	Bouzaréah, inscrit	26 mars	P	15	08	16
	Bouzaréah, inscrit	27 mars	P	18	22	58
3	Beni Sliman (SM)	15 avril	vers	20	30	
4	Beni Sliman	16 avril	vers	3	35	
	Bouzaréah, inscrit	20 avril	P	12	14	17
	110	20 avril	P	23	33	00
	Bouzaréah, inscrit	25 avril	P	11	16	21
	80	3 mai	P	9	29	32
	190	28 mai	P	16	29	04
5	Mongorno (région Berrouaghia) (SM). $d = 70$	31 mai	P	12	13	56
	$120 < d < 200$	8 juin	P	22	59	36
	Bouzaréah, inscrit	14 juin	P	16	04	50
	140	18 juin	P	0	27	02
	15	19 juin	P	14	59	16
	Bouzaréah, inscrit	9 juill.	P	11	34	26
	15	19 juill.	P	11	17	04
	Bouzaréah, inscrit	25 juill.	P	17	02	54
	Bouzaréah, inscrit (l'heure ne s'est pas inscrite).	26 juill.	vers	16		
	Bouzaréah, inscrit — .		vers	18	30	
	100	27 juill.	P	13	20	57
	Bouzaréah, inscrit	27 juill.	P	18	17	14
	15	31 juill.	P	18	30	20
	Bouzaréah, inscrit	8 août	P	17	51	30
	30	8 août	P	17	54	15
	25	30 août	P	18	19	22
	Bouzaréah, inscrit	31 août	P	10	16	40
	40	31 août	P	10	43	05
	25	31 août	P	13	14	33
	25	31 août	P	13	15	05
	Bouzaréah, inscrit	4 sept.	P	19	37	40
	Bouzaréah, inscrit	4 sept,	P	21	08	45
	80	23 oct.	eP	9	19	32
	Bouzaréah, inscrit	24 nov.	P	18	49	19
6	L'Arba, deux secousses consécutives; Maison Carrée (SM), Bouzaréah III. $d = 40$	25 nov.	P	4	37	50
7	Tablat, L'Arba (SM), Maison Carrée IV, Alger III. $d = 40$	27 nov.	iP	19	50	20
8	Tablat	25 nov.	vers	21	30	
	10	13 déc.	P	14	02	19
	30	17 déc.	P	13	51	19
	10	19 déc.	P	15	09	05
	Bouzaréah, inscrit	26 déc.	P	3	02	57
	Bouzaréah, inscrit	26 déc.	P	5	04	28
	60	27 déc.	P	8	07	40

1924

15	20 févr.	P	16	04	18
1 Beni Sliman $d = 80$	5 mars	P	3	45	37
2 Beni Sliman	5 mars		1		
(280)	7 mars	P	16	19	31
60	17 mai	*e*P	21	47	04
3 El Affroun, légères secousses SW-NE (SM) ... $d = 60$	15 juin	*e*P	3	12	10
320	30 juin	P	1	57	49
4 Bouzaréah, Alger IV $d = 4$	8 juill.	*i*P	16	07	23
120	12 sept.	*e*P	18	19	49
$5_{5,16}$ Séisme destructif. Épicentre au S-W de l'Observatoire[1]. Alger, Bouzaréah, Cap Caxine, Chebli, Cap Matifou, Maison Carrée, Rouiba, Blida, El Affroun, Arba, Boufarik, Douéra, etc. $d = 22$	5 nov.	*i*P	18	54	34
Répliques de ce séisme	5 nov.	P	19	02	55
		P	19	10	47
		P		33	11
		P	20	38	08
		P		46	37
		P		49	38
		P	21	06	08
		P		11	52
6 Ressentie probablement à Blida et El Affroun*[2]. Staouli VI		P		58	17
		P	23	18	34
		P		19	58
		P		46	03
7 Alger*	6 nov.	P	0	12	34
		P		45	13
		P	2	17	29
		P	4	46	06
8 Alger*		P	5	04	57
9 Bouzaréah IV, Alger, Blida, Maison Carrée, Saint-Charles VII		P	5	5	26
		P	5	07	38
		P	10	11	06
		P	13	11	05

1. Voir étude spéciale dans l'Annuaire de l'Institut de Physique du Globe de Strasbourg, Séismologie 1924. Tous les points affectés par la secousse principale et par les répliques ne sont pas indiqués ici, ni sur la carte.

2. J'ai essayé d'identifier ces secousses avec les heures indiquées dans les renseignements macroséismiques, mais les heures diffèrent souvent d'un assez grand nombre de minutes. J'ai indiqué les cas où la coïncidence semble la meilleure.

10 Bouzaréah III		P	16	12	51
		P	16	31	12
		P	17	07	24
11 Bouzaréah V, roulement; Alger, Blida		P	17	58	12
		P	18	07	19
Grondement 10 s. avant		P	18	40	41
12 Bouzaréah IV, Rouiba, Arba, Boufarik VII	P superposé au précédent				
13 Bouzaréah III		P	19	32	41
		P	20	27	03
14 Bouzaréah V. Dans une lunette de 3 m. orientée vers le S, oscillations des images $0^{mm}4$ (M. Jekhowsky), Alger		P	22	59	58
		P	23	02	03
		P		16	44
		P		18	05
		P		23	16
		P		42	35
	7 nov.	P	0	20	32
		P	3	19	50
		P		46	28
		P	5	25	47
		P		30	54
15 Bouzaréah III		P	5	48	15
		P	6	03	43
16 Bouzaréah II		P	7	03	35
17 Bouzaréah II		P	9	37	10
		P	10	28	26
18 Bouzaréah III		P	13	05	49
		P	14	34	14
		P	15	47	37
		P	16	06	50
		P	19	02	27
		P	21	17	40
	8 nov.	P	2	06	37
		P	7	30	00
		P	8	10	25
		P	11	29	25
		P	16	43	16
		P	17	16	40
		P	21	24	06
19 Bouzaréah IV		P	22	36	00
		P	22	39	11
		P	23	30	28
20 Bouzaréah IV	9 nov.	P	1	04	19
21 Bouzaréah II		P	1	06	15
		P		30	46

22 Bouzaréah II		P	5	32	20
		P		40	39
		P		47	02
		P	11	53	00
		P	12	15	54
		P	15	0	33
	10 nov.	P	0	56	18
23 Bouzaréah II		P	1	48	09
		P	18	52	58
	11 nov.	P	1	17	02
		P		37	59
		P	2	09	58
24 Bouzaréah III		P	8	25	52
		P	15	34	15
25 Bouzaréah III	12 nov.	P	5	35	47
	16 nov.	P	15	57	16
	18 nov.	P	16	25	40
26 Bouzaréah II	19 nov.	P	10	47	26
	21 nov.	P	19	19	51
	22 nov.	P	13	35	41
	2 déc.	P	13	52	05
	2 déc.	P	23	27	11
27 Bouzaréah II	3 déc.	P	2	31	21
28 Bouzaréah II	3 déc.	P	3	21	0
29 Bouzaréah III	3 déc.	P	12	26	44
30 Bouzaréah IV	3 déc.	P	12	32	50
	3 déc.	P	12	51	09
	5 déc.	P	16	40	58
31 Bouzaréah III, précédé d'un roulement	7 déc.	P	14	27	39
	11 déc.	P	10	54	21
	19 déc.	P	2	46	56
	26 déc.	P	0	0	25
	27 déc.	P	0	14	54

Les répliques ont encore continué en 1925.

Quadrilatère n° 5.

1911

$1_{2,4}$ Aumale, Aïn Bessem, Bir Rabalou V, Tizi-Ouzou	7 janv.	V_4	1	33	52
2 Région Aumale (?)	19 févr.	P	1	29	56
3 Aumale	25 févr.	P	23	24	32
4 Aïn Bessem, Masqueray V	10 mai	V_4	1	24	26
5 Aumale IV	6 juill.	P	19	50	36

1912

1, 4 Aïn Bessem (Aumale) V, Tizi-Ouzou, Bordj-Ménaïel IV		3 mars	*i*P	18 45 19
2 Dra el Mizan IV, Bouira III	$d = 100$	26 mars	*i*P	0 53 08
3, 6 Tizi-Ouzou IV	$d = 160$	6 août	*e*P	18 44 13
4 Masqueray (région d'Aumale)		14 août		23
5 Aumale, Aïn Bessem III	$d = 80$	2 sept.	*i*P	15 54 56

1913

1 Ménerville III, Tizi-Ouzou		18 janv.	*i*P	5 51 41
2, 4 Tizi-Ouzou		18 janv.	*i*P	23 08 05
3 Tizi-Ouzou		19 janv.	vers	23
4 Aumale III		14 oct.		3 30

1914

1 Bir Rabalou III		8 févr.	*i*P	12 12 33

1915

1 Aumale IV	$d = 60$	8 févr.	*i*P	14 46 12

1916

1 Michelet III (SM)	$d = 40$	9 sept.	P	16 44 13
2, 5, 6 Aumale		18 oct.	P	3 15 35

1917

1, 4 Grande Kabylie	$d = 50$	29 janv.	P	8 41 55
2 Aumale V	$d = 140$	29 sept.	*i*P	10 20 08
3 Aumale III	$d = 140$	29 sept.	*i*P	17 12 58

1918

1 Maillot (SM)		9 janv.	vers	2 35
2 Cap Bengut (SM)		18 janv.	vers	1 20
3 Ménerville (SM)	$d = 60$	4 août	P	16 21 0
4 Aumale, Maillot (SM)	$d = 130$	10 oct.	P	15 0 12
5 Maillot (SM)	$d = 130$	10 oct.	P	17 48 59
6 Aumale (SM)	$d = 100$	8 nov.	P	17 47 59
7 Maillot (SM)	$d = 100$	18 nov.	P	13 11 38

1919

1_6	Cap Bengut (SM)	$d = 80$	24 sept.	P 13 39 30
2	Michelet, deux secousses		25 sept.	vers 1 15

1920

1	Maillot (SM)		29 mars	vers 21 15
2	Maillot (SM)		6 avril	vers 23 0
3	Maillot (SM)		6 avril	vers 24 15
4	Maillot V (SM)	$d = 140$	20 avril	P 3 44 03
5	Michelet, 3 s.; Maillot		2 mai	P 2 21 10
6	Michelet (SM), ...	$d = 90$	15 juin	P 1 44 45
7_4	Haussonvillers, Bordj Ménaïel (SM)..	$d = 80$	12 oct.	P 0 49 00

1921

1	Tizi-Ouzou, Bordj Ménaiel, Haussonvillers IV, bruits souterrains (SM)		8 mars	vers 5 50
2	Maillot, forte secousse; Michelet (SM).	$d = 110$	7 avril	P 19 34 38
3	Bir Rabalou (SM)		3 juill.	vers 5
4_6	Tizi-Ouzou (NW-SE), Michelet, Maillot	$d = 130$	22 oct.	*i*P 21 19 36
5	Michelet (SM)		31 oct.	vers 4 30
6	Aumale, E-W (SM)		3 déc.	vers 23 55

1922

1	Maillot, forte secousse (SM)		31 mars	vers 6 30
2	Maillot; population réveillée par une forte secousse	$d = 120$	5 avril	*e*P 4 0 13
3	Maillot, secousse moins accentuée que la précédente (Dép. Alger)		5 avril	vers 8
4	Alma, forte secousse E-W (journaux); Ménerville, légère	$d = 30$	18 juill.	P 7 12 07
5	Aumale, 2 s. N-S (SM)		17 août	vers 3 30
6	Aumale, 2 s. W-E; Bir Rabalou (SM).	$d = 80$	10 sept.	P 19 38 29
7_4	Alma V, grondements	$d = 40$	23 nov.	P 12 34 39
8	Alma III		24 nov.	vers 0
9_4	Alma IV	$d = 40$	24 nov.	P 6 26 20
10	Alma		24 nov.	vers 6 45
11	Alma, bruit souterrain		26 nov.	vers 21 20

1923

1 Aumale IV, 3 s. E-W; Bir Rabalou, Tablat (SM)	$d = 80$	15 janv.	P	4 29 45
2, Aumale VI, maisons lézardées; Bir Rabalou, Aïn Bessem, Palestro, Ménerville, Haussonvillers (Presse, SM)	$d = 100$	19 févr.	*i*P	16 33 39
3 Aumale IV, Bir Rabalou	$d = 100$	19 févr.	P	16 37 49
4 Alma, E-W (SM)		28 févr.	vers	23 45
5 Aumale (SM)	$d = 80$	2 mai	P	20 12 09
6 Alma V, grondements souterrains; Ménerville (Presse)	$d = 50$	13 juill.	P	14 18 21
7 Alma V, grondements souterrains	$d = 50$	13 juill.	P	17 27 51
8 Labarraque, près Bouira		8 août	vers	18
9, Ménerville, secousses verticales 3 s., grondement; Bordj Ménaïel, Palestro	$d = 40$	27 nov.	*i*P	19 50 20

1924

1, Tizi-Ouzou, 3 secousses N-S; Haussonvillers, 2 secousses; Maillot, forte secousse; Bouira, Aïn Bessem, faible, SE-NW (?); Palestro, légère secousse	$d = 150$	19 juill.	*i*P	12 48 25
2 Beni Amran, Bordj Ménaïel, Fort-National	$d = 22$	5 nov.	*i*P	18 54 34

Quadrilatère n° 6.

1912

1 Bougie VI, Oued Marsa VI	$d = 160$	6 août	*e*P	18 44 13
2 Bougie IV, Oued Marsa IV	$d = 160$	6 août	*i*P	18 51 43

1914

1 Port-Gueydon IV, Akbou, Bougie III.	$d = 120$	13 mai	*i*P	2 47 38

1916

1, 2, 3 Bougie		18 oct.	P	3 15 35

1917

1 El Kseur (SM)	$d = 140$	11 mars	P	10 04 07
2 Kerrata (SM)		26 juin	vers	3

1918

1 Bougie (220)	$d = 220$	27 juill.	P	15 02 58
2 Kerrata (SM)		5 août		2

1919

1 Kerrata (SM)		20-21 août	nuit.	
2, Cap Corbelin (SM)	$d = 80$	24 sept.	P	13 39 30
3 Coligny		6 déc.	vers	6
4 Kerrata (SM)		16 déc.	vers	17

1920

1 Kerrata		7 mai	vers	12 30
2 Kerrata (SM)		7 oct.	vers	18 15
3 Kerrata (SM)		9 oct.	vers	17 15
4 Kerrata (SM)		25 oct.	vers	5 15

1921

1 Kerrata (SM)		3 févr.		15 15
2 Kerrata (SM)		15 févr.	vers	23
3 Kerrata (SM)		12 sept.	vers	0 25
4, El Kseur, Bougie, E-W; Mansoura, 3 s. (SM).	$d = 130$	22 oct.	*i*P	21 19 36

1922

1 Sidi Aïch (SM)		25 avril		7 20
2 Bougie, forte secousse		6 mai	vers	12 40
3 El Kseur (SM)		25 juin	vers	16 05
4 El Kseur (SM)		27 juin	vers	1 10
5 Bordj-Bou-Arréridj, Birkasdalis; Tixter, grondements souterrains (SM).	$d = 180$	29 juin	*i*P	22 49 47
6, Kerrata, 5 s. N-S (SM)	$d = 200$	22 juill.	P	13 28 34
7 Sidi-Aïch (SM)		24 déc.	vers	10 10

1923

1, Kerrata (SM)		11 mai	vers	21 45
2, Kerrata (SM)		18 août	vers	15 3

1924

1 Arbala	19 mars	nuit.	
2 Arbala	22 mai	10	30
3_7 Kerrata (SM)	27 avril	7	15
4 Bordj-Bou-Arréridj, W-E (SM)	20 juin	vers 3	
$5_{5,7}$ Seddouk. Séisme dont l'épicentre doit être situé dans la région désertique comprise entre la vallée de la Soummam et celle du Chabet-el-Akra (Akbou à Kerrata). $d = 150$	19 juill.	*i*P	12 48 25
6 Seddouk (SM)	13 août	vers 11	15
7 Kerrata, assez violent (SM)	10 sept.	vers 0	55
8 Oued Amizour V (M. Besnard), Bougie IV, El Kseur (Presse). $d = 160$	5 nov.	*e*P	4 54 52
9 Tifra (Bougie) (SM)	25 nov.	vers 7	15
10 Bordj-Bou-Arréridj (SM)	15 déc.	vers 1	0

Quadrilatère n° 7.

1911

1 Sétif III	14 déc.	vers 2	30
2 Sétif III	14 déc.	vers 10	40

1913

1 Région Sétif VI	24 mai	*i*P	23 37 14
2_8 Chateaudun du Rhumel IV	20 août	22	
3 Taher III	16 déc.	vers 3	

1916

1 Amoucha III (SM)	3 juill.	vers 15	
2 Djidjelli IV (SM)	4 juill.	vers 15	

1918

1_6 Djidjelli, Sétif (SM)	27 juill.	P	15 02 58

1919

1_{10} Sétif (SM). $d = 250$	17 mars	*i*P	11 01 12
2 Sétif (SM)	18 mars	vers 1	
3_6 Sétif IV (SM)	6 déc.	vers 6	

1920

1	Texenna (SM)	10 avril	vers 2 30

1922

1	Tizi N' Béchar (SM)	15 avril	20 15
2	Takitount 10 s., grondements; Amoucha 2 s. (SM) $d = 200$	22 juill.	P 13 28 34
3	Tizi N' Béchar (Takitount) (SM)	29 oct.	vers 14 15
4	Tizi N' Béchar (SM)	18 nov.	vers 6 05

1923

1	Tizi N' Béchar, 3 s., grondements (SM)	18 févr.	vers 20 30
2	Mila, El Milia (SM) $d = 300$ (?)	24 mars	P 14 59 58 (?)
3	Tizi N' Béchar VI, constructions lézardées	27 mars	vers 3 10
4	Tizi N' Béchar, 5 s. (SM)	11 mai	vers 21 45
5	Tizi N' Béchar, 2 s. (SM)	15 mai	vers 4 05
6	Tizi N' Béchar, 2 s. (SM)	18 mai	0 25
7	Tizi N' Béchar, 3 s. (SM)	18 mai	3 25
8	Tizi N' Béchar (SM)	1er juin	vers 23 25
9	Sétif, 2 s.; Amoucha (SM)	4 juill.	eP 21 33 44
10	Tizi N' Béchar	18 août	vers 15
11	Tizi N' Béchar, forte secousse 2 s., précédée de grondements	16 oct.	vers 7 25
12	Tizi N' Béchar, quatre secousses en 5 s., grondement	14 nov.	vers 1 20

1924

1	Aïn Merdja Sliman	11 mars	vers 1 25
2	Tizi N' Béchar (SM)	25 avril	vers 14 30
3	Tizi N' Béchar (SM)	27 avril	vers 7 15
4	Tizi N' Béchar, forte secousse 4 s. (SM)	23 mai	vers 6 30
5	Tizi N' Béchar, forte secousse (SM)	16 juin	vers 23 10
6	Tizi N' Béchar, violente secousse 3 s., lézardes à la maison cantonnière ... $d = 150$	19 juill.	iP 12 48 25
7	Tizi N' Béchar, deux fortes secousses (SM)	10 sept.	1 10
8	Tizi N' Béchar, deux fortes secousses 3 s. (SM et Presse)	11 oct.	vers 3 30
9	Tizi N' Béchar, légère secousse (SM)	7 déc.	vers 5 40

Quadrilatère nº 8.

1911

1 Constantine, forte secousse	5 févr.	vers 1
2 Constantine, faible secousse	5 févr.	vers 10

1913

1 Région Constantine III	28-29 mai	nuit.
2 Aïn Smara (Constantine) V	27-28 juin	nuit.
3 Oued Séguin	20 août	22

1916

1 Constantine III	22 janv.	11 40
2 Sigus II	10 mai	1 45
3 Aïn-Abid II	10 mai	2 30
4 El Arrouch III (SM)	30 juill.	15 30
5 El Arrouch III (SM)	20 sept.	(pas d'heure)

1917

1 Constantine (SM)	11 avril	vers minuit.

1918

1 El Arrouch (SM)	3 mars	15

1919

1 Jemmapes (SM)	$d = 380$	11 mai	cP 7 06 41

1920

1 Collo (SM)	9 mars	vers 2

1921

El Arrouch	2 déc.	vers 10 15

1923

1, El Arrouch, quelques s.; Condé-Smendou, N-S; Jemmapes	$d = 300$ (?)	24 mars	P	14 59 58 (?)
2 Sigus (SM)		7 avril	vers	21
3 Sigus (SM)		7 avril	vers	23
4 Sigus (SM)		12 avril	vers	1 10
5 Sigus (SM)		14 mai	vers	22 25
6 Sigus (SM)		28 juin	vers	23 20

1924

1 El Arrouch, bruit souterrain		21 mai	vers	18 45
2 El Arrouch, bruit souterrain; Condé-Smendou 5 s.; Constantine (SM et Presse)		29 oct.	vers	21 0

Quadrilatère n° 9.

1912

1 Guelma III		30 nov.		12 40

1913

1 Guelma III		26 mars		3 30

1919

1, Bône, l'Edough (SM)	$d = 380$	11 mai	eP	7 06 41

1920

1 Bône, cap Rosa, La Calle[1] (SM)	$d = 500$	25 févr.	P	17 57 49
2 Guelma 12 s. (SM)		6 avril		0 20

1923

1 Guelma 4 s., Bône VI (Dép. Alg.)		12 juin	vers	1 10
2 Guelma 1 s., Bône (Dép. Alg.)		12 juin	vers	3 45

1. On a fait rentrer dans cette région la petite portion comprise entre le quadrilatère et la frontière de l'Algérie.

Quadrilatère nº 10.

1912

1_{41}	Aïn El Turk IV	15 août	vers	23 10

1916

1	El Ançor III	15 avril	vers	22 15

1917

1	Hammam-bou-Hadjar (SM)	20 mars	vers	21

1919

1	Rachgoun, Béni-Saf (SM)	6 mai	e	3 36 34

1923

1	Port-Say[1] (Dép. Alg,)	4 juin	vers	9 40

[1]. Même remarque que précédemment.

1924

1	El Ançor (SM)	25 févr.	vers	7 50
2	El Ançor, frémissement 1 s. (SM)	10 mai	vers	14 45

Quadrilatère nº 11.

1912

1	Arzew VII, grondements $d = 300$	24 juill.	eP	18 06 42
2	Arzew III	25 juill.	eP	18 31 25
3	Arzew V, Kléber III	31 juill.		10 50
4	Arzew III	31 juill.		12 40
5	Kléber IV	2 août		1 30
6	Kléber III, Arzew	2 août		2 00
7	Arzew III	2 août		4 30
8	Arzew IV, avec grondements	2 août		15 40
9_{10}	Oran III	15 août		23 10
10	Arzew IV	18 sept.		20 45
11	Mostaganem III	22 oct.		3 57

1913

1	Oran, Fleurus (Tlélat), Perrégaux, forte secousse V à VII, murs lézardés, quelques bâtiments effondrés	26 févr.	eP	3 51	04

1914

1	Saint-Cloud III	10 juin		16	25
2	Renan, Assi-ben-Okba III à IV	16 juin		15	

1915

1	Saint-Lucien, Tlélat (murs lézardés) V	16 avril		16	25
2	Tlélat III	16 avril		16	45

1916

1	Oran, Perrégaux, la Senia, trois secousses rapprochées III-IV	22 janv.	P	1 25	06

1917

1	Saint-Lucien-du-Tlélat	5 mars		5	20

1919

1_{13}	Mascara (SM)	16 mars	vers	19	

1920

1	Saint-Lucien-du-Tlélat (SM)	11 sept.	vers	4	15

1922

1	Saint-Maur, secousse de N-W à S-E, sensible dans un rayon de 10 à 12 km. dans le sens des ondulations, de 5 à 6 km. perpendiculairement (SM)	17 janv.	vers	21	12
2	Mercier-Lacombe (SM)	26 janv.	vers	20	15
3	Mostaganem SM	16 févr.		1	10
4	Mostaganem SM	16 févr.		1	15
5	Mostaganem (SM), forte secousse 3 à 4 s	16 févr.	vers	22	20

1923

1 Mascara SM	2 avril	vers	7	20
2 Mercier-Lacombe	21 nov.		23	15
3 Aïn-Tédelès (Presse) W-E	3 juill.	vers	20	50

1924

1 Saint-Maur, deux secousses avec grondements.	12 mars	vers	23	
2 Oran, Arzew, Mostaganem, faible secousse 1 s. (Presse)	12 nov.	vers	2	10

1913

1_{12} Saïda	$d = 250$	8 janv.	iP	20	38 03

1924 *

1 Aïn el Hadjar (12 km. au S. de Saïda), secousse suivie de quatre détonations	5 janv.	vers	7	20

Quadrilatère n° 12.

1911

1 Relizane, deux secousses IV	10 janv.	21	30

1913

1_{11} Tiaret, Relizane, avec maximum VI, vers Prévost-Paradol et Tagdempt, où des murs ont été lézardés, grondements souterrains	$d = 250$	8 janv.	iP	20	38 03
2 Relizane III		9 janv.		0	0
3 Relizane III		10 janv.		6	30
4 Relizane III		31 août		12	

1915

1 Zemmora, succession de séismes dans la tribu des Anatra. Une secousse plus forte a fait sortir les gens de leurs demeures (SM)	24 déc.	22	

* Bien que Saïda et Aïn el Hadjar n'appartiennent pas au quadrilatère n° 11, j'ai donné ici les indications séismiques les concernant.

1919

1 Relizane, Zemmora V (SM) ..... 28 avril 21 5
2 Relizane IV (SM)..... 30 déc. vers 0 30

1922

1,,4 Relizane (SM) ..... 25 août 11 50
2 Relizane, forte secousse (SM)..... 24 nov. vers 8

1924

1' Relizane, deux fortes secousses, 6 s.; Clinchant, 3 s.; Zemmora. 3 s.; Uzès-le-Duc (Presse)..... $d = 240$ 17 avril P 13 15 44
2 Relizane et environs, secousse assez vive 2 s., SW-NE (Presse)..... 12 juill. vers 3 40

Quadrilatère n° 13.

1919

1,, Bourbaki (SM). ..... $d = 150$ 16 mars vers 19

1920

1 Taza, forte secousse..... 11 mai eP 21 16 27

1922

1 Taza, secousse très violente (SM)..... ... 28 août vers 23

1923

1 Bourlier, 220 km. d'Alger vers Tiaret (SM). 31 mai (sans ind. d'heure)

1924

1 Reibel (SM) ..... 30 janv. vers 6
2 Babmerzouka, près de Taza 10 s., quelques dégâts (Presse)..... 11 févr. vers 1 30

Quadrilatère n° 14.

1913

1	Boghari		7 août	vers 7 5

1914

1	Boghari IV, Letourneux III		29 avril	*i*P 23 14 17
2	Letourneux III, avec grondement souterrain..		9 déc.	vers 19 50

1924

1	Boghari	$d = 22$	5 nov.	*i*P 18 54 34

Quadrilatère n° 15.

1924

1	Sidi Aïssa, faible SW-NE (SM)	$d = 140$	15 nov.	*i*P 7 13 58

Quadrilatère n° 16.

1919

1	Tocqueville, Colbert (SM)	$d = 250$	17 mars	*i*P 11 1 12

1924

1	M' Sila, secousse verticale suivie d'une secousse latérale plus forte et plus longue.	$d = 160$	17 août	P 23 36 0
2	M' Sila, secousse horizontale très courte (SM).		18 août	P 5 27 11
3	M' Sila, courte secousse verticale		16 oct.	vers 22 20
4	M' Sila 3 s., NW-SE	$d = 220$	11 déc.	*e*P 21 24 30
5	Cérez, cinq faibles secousses consécutives (région M' Sila), probablement en rapport avec la précédente		11 déc.	21 25

Quadrilatère n° 17.

1911

1	Pasteur 3 s.	3 févr.	vers	2 (?)
2	Batna, 4e secousse depuis huit jours.	4 févr.	vers	3 40

1921

1_{18}	Pasteur (SM).	$d = 330$ (?)	5 août (date douteuse)	eP	18	1 50

1924

1	Style N sorti de la feuille. Destructif : El Ksour (douar) et environs, trois victimes ; V. Duruy, une victime ; Mac-Mahon, Batna, fortes secousses ; El Kantara, Bernelle, Barika, N' Gaous.	$d = 360$	16 mars	eP	10 18	08
2	Réplique Mac-Mahon.		17 mars		19	
3	Réplique Mac-Mahon.		17 mars		21	
4	Réplique Mac-Mahon.		18 mars		1	
5	N' Gaous (région Batna), faible.		1er avril	vers	10 30	

1921 *

	Biskra (SM).	8 juill.	vers	23	20

Quadrilatère n° 18.

1920

1	Arris (SM).	3 janv.	vers	18

1921

1_{17}	Khenchela SM.	$d = 320$ (?)	5 août (date douteuse)	eP	18	01 50

1923

1	Khenchela	23 nov.		(?)

* Biskra est situé au sud du quadrilatère n° 17.

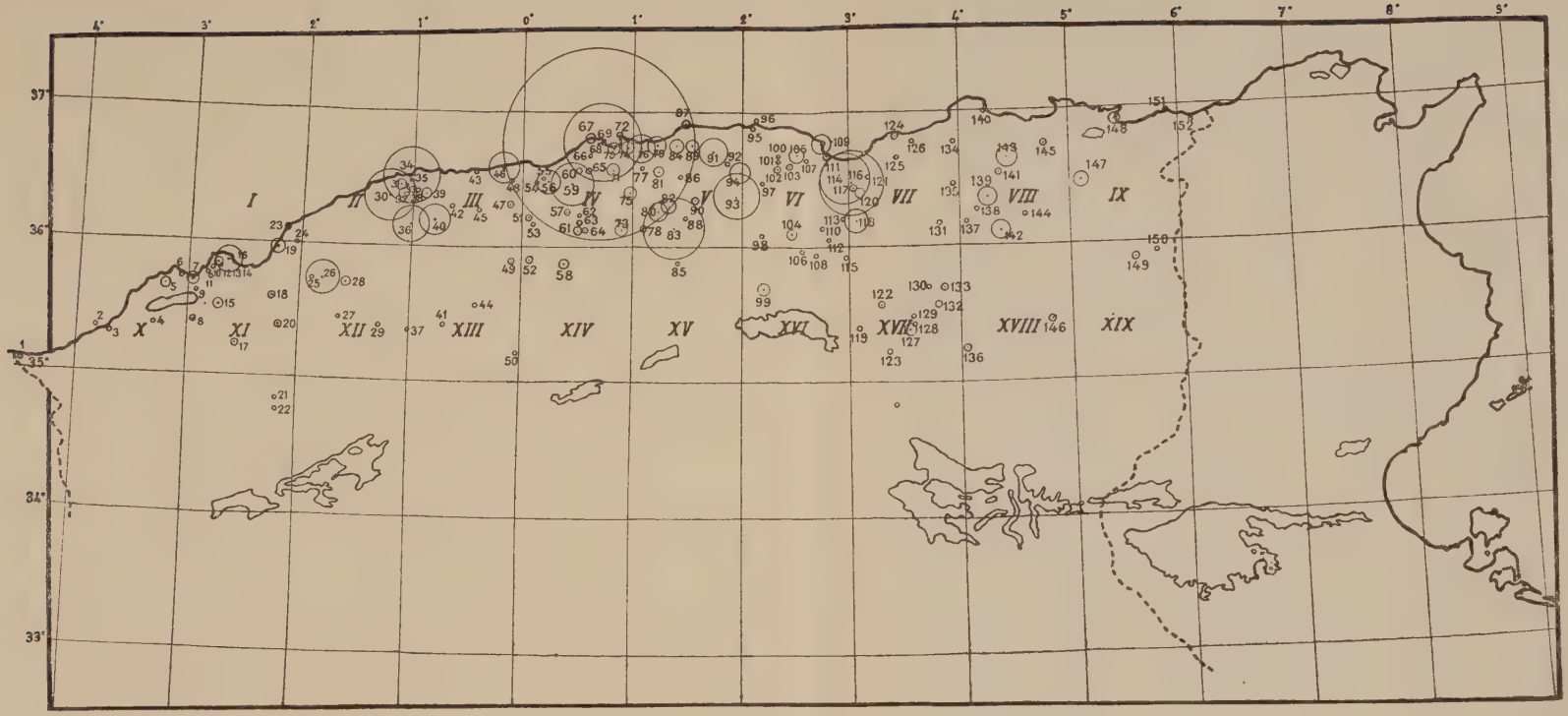
1924

1, Arris	16 mars	eP	10 18 08

Quadrilatère nº 19.

1923

1, 2 Clairfontaine, deux secousses à 10 minutes d'intervalle; Ouenza, grondement (SM)	17 oct.	vers	16 30
3 Clairfontaine, Ouenza, détonation souterraine (SM)	18 oct.	vers	4 30



LOCALITÉS CORRESPONDANT AUX NUMÉROS INDIQUÉS CI-DESSUS

Port-Say	1	Uzès le Duc	27	Voltaire	53	Masqueray	78	Arbala	103	El Ksour	128
Ile Rachgoun	2	Zemmora	28	Meurad	54	Ménerville	79	Bordj-bou-Arréridj	104	V. Duray	129
Beni-Saf	3	Prévost Paradol	29	Ameur el Aïn	55	Bir Rabalou	80	El Kseur	105	Bernelle	130
Hamman-bou-Hadjar	4	Fromentin	30	El Affroun	56	Palestro	81	Cérez	106	Chateaudun du Rhumel	131
El Ançor	5	Cavaignac	31	Médéa	57	Aïn Bessem	82	Oued Amizour	107	Batna	132
Aïn el Turk	6	Chasseriau	32	Boghari	58	Aumale	83	Tocqueville	108	Pasteur	133
Oran	7	Khalloul	33	Blida	59	Bordj Ménaïel	84	Bougie	109	El Milia	134
Saint Maur	8	Tenès	34	Hakou Féraoune	60	Sidi-Aïssa	85	Birkasdalis	110	Mila	135
La Sénia	9	Montenotte	35	Mongorno	61	Dra-el-Mizan	86	Oued Marsa	111	Arris	136
Assi ben Okba	10	Orléansville	36	Loverdo	62	Cap Bengut	87	Tixter	112	Oued Seguin	137
Fleurus	11	Tiaret	37	Ben Chicao	63	La Baraque	88	Coligny	113	Aïn Smara	138
Saint Cloud	12	Flatters	38	Berrouaghia	64	Haussonvillers	89	Kerrata	114	Constantine	139
Kléber	13	Hanoteau	39	Chebli	65	Bouira	90	Colbert	115	Collo	140
Renan	14	Oued Fodda	40	Douéra	66	Tizi-Ouzou	91	Tizi N'Béchar	116	Condé Smendou	141
Saint Lucien du Tlélat	15	Bourlier	41	Cap Caxine	67	Fort-National	92	Takitount	117	Sigus	142
Arzew	16	Carnot	42	Bouzaréah	68	Maillot	93	Sétif	118	El Arrouch	143
Mercier-Lacombe	17	Gouraya	43	Alger	69	Michelet	94	Barika	119	Aïn Abid	144
Perrégaux	18	Bourbaki	44	Maison Carrée	70	Port Gueydon	95	Amoucha	120	Jemmapes	145
Mostaganem	19	Duperré	45	Arba	71	Cap Corbelin	96	Aïn Merdja	121	Khenchela	146
Mascara	20	Cherchel	46	Cap Matifou	72	Akbou	97	N'Gaous	122	Guelma	147
Saïda	21	Miliana	47	Beni Sliman	73	Mansoura	98	El Kantara	123	Bône	148
Aïn-el-Hadjar	22	Marceau	48	Rouiba	74	M'Sila	99	Djidjelli	124	Clairfontaine	149
Cap Ivi	23	Taza	49	Tablat	75	Tifra	100	Texenna	125	Ouenza	150
Aïn Tédelès	24	Reibel	50	Alma	76	Sidi Aïch	101	Taher	126	Cap Rosa	151
Clinchant	25	Lavigerie	51	Beni Amran	77	Seddouk	102	Mac-Mahon	127	La Calle	152
Relizane	26	Letourneux	52								

LA FRÉQUENCE DES TREMBLEMENTS DE TERRE EN ALGÉRIE

(1925-1932)[1]

J'ai établi la liste des séismes concernant les années 1925-1932 en utilisant, comme je l'ai fait précédemment, les données fournies par l'Observatoire d'Alger-Bouzaréah qui relève dans ses bulletins mensuels tous les tremblements ; j'ai également fait appel aux renseignements communiqués par le Service météorologique d'Algérie et par la presse.

La courbe de fréquence annuelle a été tracée en tenant compte, comme pour la période 1911-1924, de tous les séismes inscrits et ressentis et de ceux dont la distance épicentrale fait présumer un foyer situé en Algérie. Cette courbe de fréquence qui, dans la période antérieure, présentait son maximum en 1924, décroît régulièrement et assez rapidement, comme il ressort des données suivantes : 148 séismes en 1924, 96 en 1925, 53 en 1926, 29 en 1927, ce qui constitue un premier minimum. Pour l'année 1928 on constate une recrudescence de l'activité séismique : 69 séismes. Les années suivantes, la courbe décroît et atteint un minimum de 22 en 1930. Enfin, les nombres de 36 pour 1931 et 26 pour 1932 marquent une stabilité relative.

1. La première partie de cette étude a paru dans les *Publications du Bureau central international de séismologie*. Série B. Monographies, fascicule n° 2. Les tirés à part conservés depuis cette publication en vue du travail ultérieur ont été joints à la deuxième partie présentée comme thèse afin de réunir en un même volume l'ensemble de l'étude faite sur les tremblements de terre d'Algérie.

L'intensité des séismes a été le plus souvent inférieure au

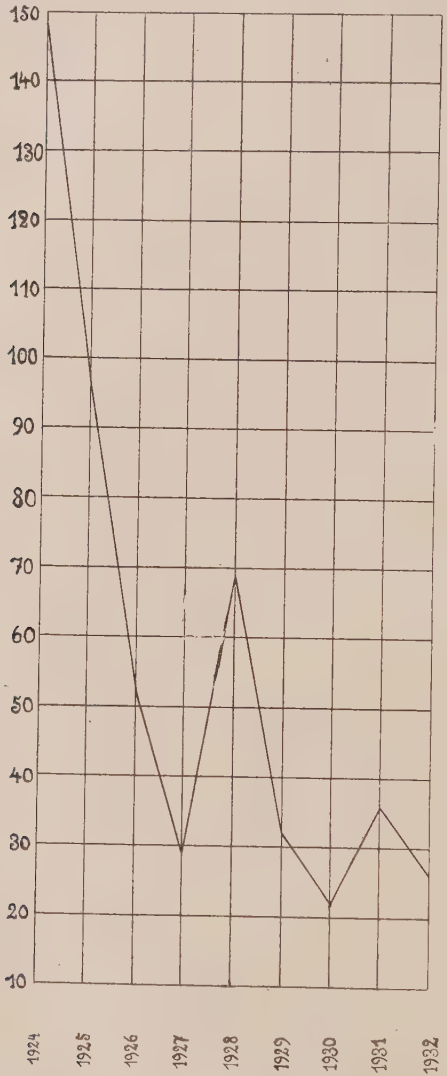


Fig. 1 *bis.* — Courbe de fréquence annuelle.

degré V de l'échelle internationale : sur 362 tremblements de terre, on ne trouve que 3 secousses de degré V, sans tenir

compte de celles qui furent ressenties dans la région de Constantine-Sidi-Mabrouck au cours des premiers mois de l'année 1925 ; 9 de degré VI, 6 de degré VII, 4 de degré VIII, 4 de degré VII-IX, 1 de degré IX.

Les centres les plus importants sont encore distribués dans la zone comprise entre le littoral et une ligne parallèle à la côte, à une distance d'environ 160 km. de celle-ci.

Dans la première partie de cette étude j'ai signalé les principaux faits qui, aux points de vue géographique et géologique, peuvent servir à expliquer l'activité des régions séismiques.

Le littoral montre une grande instabilité par rapport aux autres régions. L'Atlas tellien est caractérisé par les mêmes districts d'agitation. Les Hauts Plateaux sont restés parfaitement calmes. La région du Chott El Hodna a, pendant ces dernières années, manifesté une certaine agitation, notamment en 1925, 1928 et 1932. Par contre, la région de Batna a été relativement stable. Si on excepte le massif de l'Aurès, l'Atlas saharien se caractérise toujours par un équilibre presque parfait.

Que faut-il penser de l'hypothèse émise par Chesneau sur l'existence de deux régions indépendantes situées de part et d'autre d'une ligne allant du Djebel Aurès à Ténès, idée reprise par Montessus de Ballore, qui proposait la vallée moyenne du Chélif comme limite de séparation[1] ?

Je puis faire à ce sujet les remarques suivantes :

Le 10 juin 1925, un séisme de degré VIII, de foyer situé à Damiette, dans l'Atlas de Blida, a été ressenti jusqu'à Taza dans l'Ouarsenis ; la propagation a donc coupé la vallée du Chélif.

Le 24 août 1928, un tremblement dont l'épicentre était situé à Inkermann s'est propagé dans les quadrilatères 11, 12, 13 et 14 situés à gauche du Chélif ; mais les communiqués de la presse ajoutent, sans donner de précisions, que de nombreuses sources seraient apparues dans la plaine sur la

1. Voir première partie, p. 6.

rive droite de ce fleuve. Il a même été question de suintements pétrolifères.

Par contre, les tremblements du 20 janvier 1927, foyer Blida, VIII-IX ; du 2 juin 1928 à Staoueli, VIII ; de Castiglione, 28 novembre 1928, VII, n'ont pas franchi cette vallée. Les deux premiers n'ont pas dépassé l'aire du quadrilatère 4 ; le troisième a affecté seulement la zone littorale aussi bien à l'est qu'à l'ouest, où il s'est étendu jusqu'à Cherchel.

Le 4 mars 1931, la secousse importante, degré VIII, du camp des Chênes, situé au sud de Blida, s'est fait sentir jusqu'à Cherchel, mais elle ne semble pas s'être dirigée vers la rive gauche du Chélif.

Le 2 novembre 1931, un séisme s'est produit dans la région de Blida et a été ressenti à Miliana, qui est encore sur la rive droite du Chélif.

De ce qui précède il suit que certains faits semblent confirmer l'opinion des auteurs cités, tandis que d'autres l'infirment.

Je m'étais proposé, dans la première partie de ce travail, d'appliquer à l'Algérie la méthode japonaise de prévision des séismes ; dans le but de continuer cette tentative, et bien que les premiers résultats n'aient pas été très significatifs, j'ai établi la liste des secousses affectant les localités des 19 quadrilatères sphériques déjà considérés et ai, pour les huit dernières années, mis en évidence sur une carte la fréquence des tremblements de terre par des cercles de rayon proportionnel au nombre de secousses. La liste et la carte figurent à la fin de ce mémoire.

Étudiant successivement les différents quadrilatères par ordre d'importance séismique, j'ai été amenée à faire les constatations suivantes :

Le quadrilatère n° 4 reste parmi les plus séismiques. Sur 130 tremblements de terre signalés dans cette région, il y a lieu d'en éliminer 38 dont les épicentres ne sont pas déterminés et dont les distances ne permettent pas d'affirmer qu'ils affectent la portion considérée. 39 secousses indiquées

uniquement par les séismographes de la Bouzaréah seront également laissées de côté pour que la comparaison avec les surfaces voisines ait un sens. Finalement, après déduction de ces séismes divers, il reste encore 53 tremblements ressentis par l'homme. La séismicité est particulièrement importante en 1925 et fait suite à celle de 1924. Cependant de nouveaux noms de localités apparaissent, notamment Castiglione, où un séisme, très localisé sans doute, puisqu'il n'a pas été inscrit à Alger-Bouzaréah, aurait causé des fissures dans la montagne et provoqué la formation d'une source d'eau chaude. Deux autres, l'un à Damiette, le 10 juin, de foyer situé vers Boghar, l'autre à Beni-Sliman, le 30 octobre, ont entraîné la formation de lézardes (VI-VIII).

En 1926 et 1927 la stabilité est à peu près réalisée ; cependant cette dernière année compte un séisme assez violent le 20 janvier, dont le foyer était à Blida (VIII-IX). L'inscription a eu lieu à Bouzaréah ; d'après la surface pléistoséiste des localités affectées, la secousse a dû être importante.

En 1928 l'instabilité est nettement affirmée, car on note dix macroséismes parmi lesquels il convient de mettre à part celui du 2 juin, de degré VIII, dont l'épicentre est à Staoueli. Un autre de degré VII, observé le 25 novembre, avait pour foyer Castiglione.

En 1931 un tremblement, ayant pour centre le camp des Chênes, est noté avec le degré VIII. Son aire d'ébranlement est assez étendue et délimitée par les points suivants : Bouzaréah, Alger, Rouïba, Arba vers l'est ; Boghari au sud ; El Affroun, Cherchel et Tipaza vers l'ouest. Une autre secousse de moindre intensité — VII — dans la même région, le 2 novembre, a eu aussi une aire de propagation plus réduite.

Enfin, plus au sud, il y a lieu de noter, le 15 février 1932, aux environs de Berrouaghia, un tremblement de degré VII, assez important pour que les longues ondes auxquelles il donna naissance fussent inscrites à Strasbourg. La propagation jusqu'à Médéa et Boghar est nettement N-S.

Si, depuis la fin de la période antérieure, on prolonge la

courbe de fréquence des séismes dont les foyers se trouvent à moins de 25 km. de Bouzaréah, on constate que sa décroissance est extrêmement rapide après le phénomène important de 1924, et que cette période d'accalmie dure encore actuellement.

Bouzaréah, indiqué avant 1925 comme le point le plus

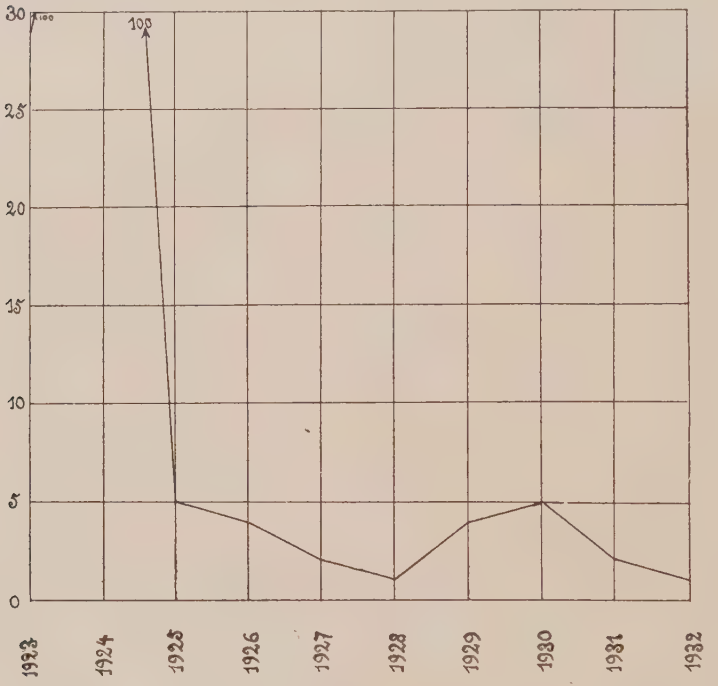


Fig. 2 *bis.* — Fréquence des séismes
dont les foyers se trouvent à moins de 25 km. de Bouzaréah.

agité, ne se trouve classé, en ces dernières années, qu'après Alger et Castiglione. Cette dernière localité n'avait pas bougé de 1911 à 1924. Au sud du quadrilatère, Brazza est aussi un nouveau centre situé, il est vrai, non loin de Mongorno et de Berrouaghia, dans une région assez souvent secouée. J'ai déjà signalé la propagation N-S de certains séismes et je ferai remarquer maintenant que plusieurs foyers d'agitation se

placent sensiblement suivant cette même direction, tels : Boufarik, Blida, camp des Chênes, Médéa, Damiette, Loverdo, Berrouaghia, Brazza. Faut-il véritablement voir dans ce fait une relation tectonique, ou n'y a-t-il qu'une apparence due tout simplement à ce que les localités importantes dont proviennent les renseignements sont tout naturellement situées le long des voies de communication qui se dirigent vers le Sud?

Dans le quadrilatère nº 8 on compte 53 secousses, la fréquence est donc aussi grande que dans le quadrilatère précédent. Toutefois ce nombre très élevé est dû uniquement à une activité séismique très intense qui s'est produite en 1925 dans la région de Constantine, Sidi-Mabrouk, Le Khroub et El Guerra ; dans cette seule année 35 tremblements ont eu lieu de janvier à mai, sans qu'aucun d'eux ait causé de dégât dans ces localités et ait dépassé le degré V. Condé-Smendou a été affecté également par ces mouvements, mais moins souvent. Cette activité exceptionnelle s'est ensuite évanouie presque entièrement jusqu'à la fin de 1932 ; on relève toutefois encore une secousse de degré VI à Constantine, le 23 octobre 1928.

Le 7 mars 1926 un séisme assez important, inscrit jusqu'en Espagne, a affecté une grande surface comprenant tout le littoral de Djidjelli à Bône et s'étendant par El Arrouch au delà de Constantine vers le sud. On ne possède pas de renseignements macroséismiques assez précis pour permettre de le classer d'après l'échelle d'intensité.

Dans le quadrilatère nº 6 on compte 51 tremblements. Les premières années de la période écoulée, celles de 1925 à 1928, ont été les plus agitées. Les principaux centres sont Oued Marsa, au fond du golfe de Bougie, où l'on compte 10 séismes de faible intensité ; Oued Amizour, à l'intérieur des terres sur un affluent de la Soummam, présente moins de secousses, mais l'une a atteint le degré V, le 25 janvier 1925, et une autre le degré VI, le 15 mars de la même année. Au sud du quadrilatère se trouvent deux centres fré-

quemment en mouvement : Mansoura et Bordj-bou-Arréridj.

Remarquons que ces deux villes, bien qu'assez voisines, ne bougent pas simultanément, mais plutôt alternativement. C'est ainsi qu'on relève 3 secousses en mai et juin 1925, affectant seulement Bordj-bou-Arréridj, puis 3 secousses particulières à Mansoura en juillet 1926 ; ensuite, Bordj-bou-Arréridj a été secoué à nouveau en octobre, etc. D'autre part on remarque que Bordj-bou-Arréridj s'est montré en relation, le 24 juin 1925, avec M'Sila et Bou-Saâda ; par contre Mansoura, en 1932, a été agité en même temps que Medjez et M'Sila. Les tremblements de la région de Mansoura semblent donc indépendants de ceux de Bordj-bou-Arréridj ; mais l'ensemble est, au point de vue séismique, en rapport avec la partie méridionale. Par ailleurs Kerrata a montré encore quelque activité en 1927 et 1928 ; enfin deux nouveaux foyers séismiques sont apparus : Ighil-Ali et Guelaâ.

Le quadrilatère n° 5 ne vient qu'au quatrième rang pour la fréquence pendant ces huit années ; il compte 42 séismes assez régulièrement répartis. Le 2 juillet 1925, un tremblement provenant d'Aumale fut ressenti jusqu'à Alger ; des longues ondes ont été inscrites à Paris et à Strasbourg. J'ajoute qu'Aumale s'est montré particulièrement agité pendant cette période ; 14 secousses y furent constatées. Le 15 août 1931 un autre séisme a atteint les degrés VIII-IX ; il s'est étendu au nord jusqu'à Aïn-Bessem, Bouïra, Palestro et même l'Alma, et au sud jusqu'à Djebel-Dira. Ce dernier centre paraît avoir été le plus fortement secoué ; il y eut des dégâts. La secousse fut inscrite à Strasbourg. Dans ce cas c'est encore en direction S-N que la propagation tend à se faire.

L'établissement de la courbe de fréquence pour tout le quadrilatère n° 5 ne permet pas, à mon avis, de faire de prévision : à ne considérer que la région d'Aumale, les chiffres ne conduisent à aucune conclusion précise.

La ville de Maillot a été presque aussi agitée que celle

d'Aumale et ses secousses sont, en général, indépendantes de celles de cette dernière ville. Parmi les autres citons, d'après l'importance de leur instabilité : Tizi-Ouzou au pied d'un massif ancien, Fort-National, Aïn-Bessem. Une secousse de foyer Tigzirt, le 9 septembre 1928, a affecté de nombreux points comprenant une partie de ceux déjà signalés et de plus Dellys, Haussonvillers, cap Bengut, Bordj-Ménaïel ; le séisme fut suivi de quatre répliques inscrites à Bouzaréah, mais non ressenties dans la région épicentrale.

Les quadrilatères n° 7 et n° 11 ont eu l'un et l'autre 26 secousses. Le quadrilatère n° 7 a pour centre séismique principal Tizi-N'Béchar. Quelques-uns des 19 mouvements qui l'ont affecté ont ébranlé des localités plus ou moins voisines, ainsi Tizi-N'Béchar a bougé le 6 février 1927 et le 19 août 1928 avec Kerrata, le 25 mars 1927 avec Seddouk ; le 3 septembre il fut atteint par une secousse dont l'épicentre se trouvait dans la région de Fort-National. Mais le plus souvent cette ville a ses secousses séparées de celles de Kerrata, bien que ces deux centres soient très rapprochés, comme je l'ai déjà indiqué [1].

Les quadrilatères n° 10 et n° 11 concernent la région d'Oran. Le premier a été stable ; on ne relève que deux tremblements, en 1925 et en 1929, dont les foyers sont dans le quadrilatère voisin, et deux séismes, en 1931, localisés à Aïn-Khial.

Si le quadrilatère n° 11 n'offre qu'un nombre assez restreint de mouvements — 26 — comme je l'ai déjà noté, il présente toutefois cet intérêt que certains atteignirent une intensité remarquable. L'un, du 19 juin 1925, a été inscrit à Cartuja (Granada, Espagne) et à Alger. Le lendemain et le surlendemain, deux autres secousses ont ébranlé à peu près la même région que le premier jour ; à Port-aux-Poules, le degré VI fut atteint. Les localités affectées se trouvent principalement sur la côte et à l'ouest de la plaine du Sig. En 1929, deux

1. Première partie, p. 12.

secousses importantes à Saint-Denis-du-Sig, dont l'une de degré VIII, se sont propagées dans la même région que précédemment. Cependant la plus forte s'est étendue à l'ouest et au sud jusqu'à Perrégaux, Mascara, et même Saïda. Paris et Strasbourg ont inscrit les longues ondes de ce tremblement. La courbe de fréquence du quadrilatère nº 11 présente un intérêt d'ensemble depuis 1911 ; mais comme elle n'est pas caractéristique pour prévoir les séismes importants de 1929, je ne la reproduis pas ici, me réservant d'y revenir plus loin.

Parmi les foyers les plus instables, je signale Oran, Mascara, Arzew, Saint-Denis-du-Sig, Mostaganem, Oued-Fergoug, Perrégaux, Saint-Louis.

Rappelons que Saïda et Berthelot, extérieurs au quadrilatère considéré mais appartenant au versant sud du Tell, ont été ébranlés : Saïda, en 1929, comme je l'ai dit précédemment, et Berthelot le 25 décembre 1926, par une secousse isolée.

Le quadrilatère nº 3 vient ensuite, si l'on suit le classement donné par le nombre des secousses.

Les points les plus instables ont été : Cherchel, sur la côte, et Rouïna, dans la plaine du Chélif ; Saint-Cyprien-des-Attafs et Oued-Fodda qui sont dans des vallées secondaires.

Le 5 juillet 1928 un séisme, assez important pour que des longues ondes aient encore été inscrites à Strasbourg, a été ressenti principalement le long de la vallée du Chélif à Rouïna, Oued-Fodda, Duperré, Orléansville, et a atteint la côte à Cherchel. L'instabilité de la région est en grande partie localisée dans la plaine du Chélif et de ses affluents, particulièrement l'Oued Fodda, où des mouvements ont été signalés jusqu'à Lamartine. Cherchel sur la côte bouge assez fréquemment. Je citerai encore Miliana qui se trouve sur le flanc sud du Dahra.

Le quadrilatère nº 2 a, depuis la catastrophe de Cavaignac (1922), joui d'une tranquillité remarquable. Neuf macroséismes sont signalés pendant ces huit années, parmi les-

quels cinq ont affecté particulièrement Ténès, une seule secousse a eu un maximum de degré V. En dehors de Ténès, il convient de signaler les centres d'Orléansville, sur les bords du Chélif ; Malakoff, sur l'Oued Sly ; Fromentin, dans le Dahra.

Le quadrilatère nº 9 est comparable au précédent par sa fréquence. Le tremblement de Djidjelli à Bône du 7 mars

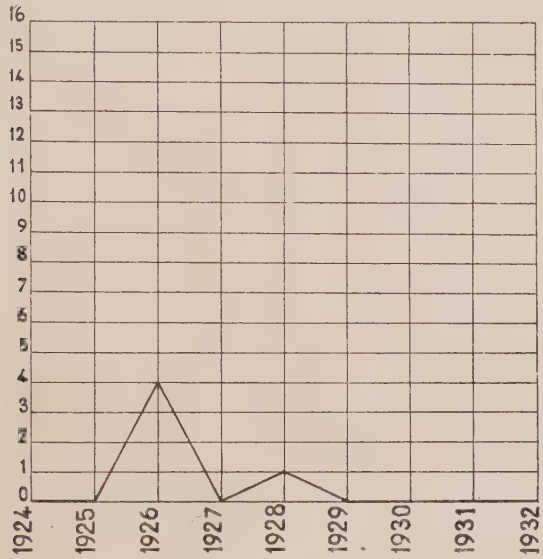


Fig. 3 *bis*. — Fréquence des tremblements de terre dans la région de Ténès.

1926 a déjà été cité ; j'ajoute que ce séisme a été inscrit en Espagne. Un autre tremblement, en décembre 1928, causa à Paris des longues ondes, à Strasbourg et à Besançon des émergences. Il a affecté particulièrement le littoral jusqu'à Bessombourg où je relève, dans la zone ébranlée, Bône, Bugeaud, La Calle, Morris, Herbillon. Mais en outre Guelma, sur la rive droite de l'Oued Seybousse, Gounod, plus au sud, et Soukahras, dans la vallée de la Merdjerda, ont été également atteints.

Le quadrilatère n° 14 est rarement agité ; ses seuls centres sont Boghar et Boghari, situés de part et d'autre du Chélif. Un tremblement d'intensité VIII a eu son origine dans la région de Boghar, le 10 juin 1925 ; Paris a inscrit une émergence et Besançon et Strasbourg ont enregistré des longues ondes. Il a été ressenti jusque dans les quadrilatères voisins, en particulier dans l'Atlas de Blida, notamment à Médéa, Damiette, Dollfusville, et à Taza dans le massif de l'Ouarsenis. La courbe de fréquence des secousses affectant la région épicentrale de cet important mouvement comporte un chiffre trop peu élevé pour qu'elle soit tracée. Je dirai seulement que de 1915 jusqu'en 1923 aucun séisme n'y a été signalé ; en 1924 j'ai noté une seule secousse ; 4 en 1925, parmi lesquelles celle dont je viens de parler et qui fut suivie de 3 répliques ; et enfin une au cours de chacune des années 1928, 1929, 1930, 1932. L'instabilité, bien que faible, semble pourtant apparaître par rapport aux années antérieures.

Puisque j'ai nommé Taza, localité située dans le quadrilatère n° 13, je signale la stabilité de toute cette surface dont Taza est le seul point ébranlé.

La région comprise dans le quadrilatère n° 16 est celle du Chott El Hodna. Les centres à signaler sont situés sur l'Oued Ksob : Medjez au nord, M'Sila plus près du Chott. Le bassin du Hodna forme géologiquement un bassin fermé et la séismicité, à de rares exceptions près, paraît indépendante de celle des autres régions. Le 24 juin 1925 une secousse s'est propagée jusqu'à Bordj-bou-Arréridj, situé en bordure du bassin d'alimentation de l'Oued Ksob, et à Bou-Saâda. Ce dernier point appartient au quadrilatère n° 15 et est situé au sud-est du Chott, du côté opposé à M'Sila ; une secousse, dite forte, y fut ressentie le 28 mars 1929, elle resta spéciale à son territoire.

Mac-Mahon, dans le quadrilatère n° 17, n'a montré d'agitation qu'en 1926.

Pour 1929 je signale une secousse faible à N'Gaous, à l'ouest des monts de Batna. Au sud du quadrilatère on

trouve Biskra et M'Chounech, ce dernier dans le massif de l'Aurès, qui ont subi un faible mouvement en 1927.

Le quadrilatère n° 12, rejeté très loin dans l'ordre des fréquences, a eu le 24 août 1928 un séisme important qui a été ressenti sur une aire s'étendant aux quadrilatères 3, 11, 14. Le foyer se trouvait, en bordure de la plaine du Chélif, à Inkermann, Saint-Aimé, Relizane. Le pourtour de la surface affectée est délimité du NW au SE par Duperré, Boghari, Tiaret, Mascara. Il s'agissait donc d'un mouvement du massif de l'Ouarsenis. La secousse s'est fait sentir au NE jusqu'à la mer, à Mostaganem. La fréquence des secoûsses de ce quadrilatère ne permet pas davantage la prévision de ce séisme important.

Arris et Khenchela, localités séismiques de l'Aurès comprises dans le quadrilatère n° 18, n'ont eu aucune secousse.

Enfin dans le quadrilatère n° 19 on ne relève qu'un mouvement isolé à Aïn-Beïda.

LISTE DES SÉISMES DES DIFFÉRENTS QUADRILATÈRES

POUR LA PÉRIODE 1925-1932

Quadrilatère n° 1

1926

1_{11}	Cap Ivi, NS.	5 févr.	vers	18	04	

1927

1	Cap Ivi, NS, 2 s.	26 août	vers	3	10	

Quadrilatère n° 2

1925

1	Orléansville, faible ; Chassériau, assez fort.	23 mai	vers	2	30	
2	Orléansville.	12 juin	vers	12	40	

1926

1	Ténès, légère secousse.	12 mai	vers	1			
2	Ténès, forte.	12 mai	iP	9	17	19	d=150
3	Ténès, faible.	12 mai	vers	13			
4	Ténès, violente, pas de dégâts. (Presse.)	17 mai	iP	13	29	03	d=150

1928

1_3	Orléansville.	5 juill.	iP	3	39	39	d=150
2	Ténès, une cloche a tinté, émoi général, ni accidents ni dégâts, VI. (Presse.)	6 oct.	eP	1	24	16	d=150
3	Orléansville, assez forte, NW-SE, 3 s. ; Malakoff ; Fromentin.	27 oct.	P	5	23	29	d=150

Quadrilatère n° 3

1926

1	Rouïna, E-W.	19 janv.	P	1	08 02	d=120
2	St-Cyprien-des-Attafs, secousse légère.	17 déc.	vers	0	30	
3	St-Cyprien ; Carnot ; Rouïna, assez forte secousse	17 déc.	eP	5	41 38	d=150
4	St-Cyprien, tuiles déplacées ; Carnot, grondements, population effrayée ; Rouïna, plafonds lézardés, VII	17 déc.	P	6	23 39	d=150

1928

1_2	Rouïna, assez violente, pas de dégâts ; Oued-Fodda ; Duperré ; Cherchel, SW-NE, craquements de meubles. (Presse.)	5 juill.	iP	3	39 39	d=50
2	Cherchel, faible. (Presse.)	5 juill.	vers	22		
$3_{11, 12, 14}$	Duperré.	24 août	iP	9	44 55	
$4_{4, 5}$	Cherchel.	25 nov.	iP	1	07 15	d=150
5	Rouïna, SW-NE ; Miliana, faible.	24 déc.	iP	7	15 48	d=140

1929

1	Novi ; Cherchel, forte secousse. (Presse.)	19 avr.	eP	6	52 07	d=60
2	Marceau, forte secousse, pas de dégâts.	9 oct.	P	13	44 10	d=70

1931

1_4	Cherchel.	4 mars	P	5	36 40	d=50
2	Cherchel, forte secousse, W-E. (Presse.)	13 oct.	iP	10	41 55	d=110
3_4	Miliana.	2 nov.	iP	14	58 08	d=50

1932

1	Oued-Fodda, Lamartine.	14 nov.	vers	16	20	
2	Oued-Fodda, Lamartine.	15 nov.	vers	5	(15)	

Quadrilatère n° 4

1925

	Réplique du 5 nov. 1924, non ressentie.	1er janv.	eP	21	31	49	
	Séisme proche.	9 janv.	P	16	15	31	
1	Boufarik, 4 s. ; Alger, III.	5 févr.	P	7	50	26	d=25
2	Blida, 3 oscillat. (Presse.)	17 févr.	P	16	54	52	d=40
	L 17 11 44	17 févr.	P	17	11	39	
3	Castiglione, courte secousse	19 févr.	vers	15			
4	Castiglione, courte secousse	19 févr.	vers	21			
5	Castiglione, 2 s., quelques fissures se seraient ouvertes dans la montagne, entre Douaouda et Castiglione, une source d'eau chaude a jailli dans une propriété de Douaouda où il n'y en avait jamais eu (VIII-IX?). (Presse.)	20 févr.	vers	22			
6	Castiglione, grondements.	23 févr.	vers	0	35		
	10 km.	29 mars	P	7	41	07	
	300 (?).	31 mars	eP	6	26	20	
	F 4 04.	5 avr.	P	3	58	36	
	Bouzaréah, inscrit.	30 avr.	P	9	32	19	
	60.	3 mai	iP	10	29	20	
7	Alger ; Bouzaréah, III.	5 mai	P	5	59	19	
8	Alger ; Bouzaréah, IV ; El Affroun, faible.	12 mai	P	22	47	29	d=60
9	El Affroun, faible.	26 mai	vers	12	30		
$10_{13,\ 14}$	Médéa ; Damiette, grondement, quelques lézardes, VIII ; Dollfusville, précédé d'un grondement ; Brazza ; (Castiglione).	10 juin	$\overline{P}$	16	45	02	
11_{14}	Brazza.	11 juin	$\overline{P}$	20	18	17	
	Bouzaréah, inscrit.	17 juin	$\overline{P}$	10	27	11	
12_{5}	Beni-Sliman, deux secousses à 4 s. d'intervalle ; Alger, faible.	2 juill.	iP	16	39	17	
	70 km.	15 juill.	eP	18	16	22	
	120.	3 août	P	11	51	56	
	140.	29 août	P	8	56	23	
	20.	3 sept.	P	13	43	58	
	Bouzaréah, inscrit.	24 oct.	P	14	12	19	
13	Boufarik, V. (M. Videau.)	25 oct.	iP	7	38	42	d=25

14	Beni-Sliman, VI, 5 s., W-E., quelques lézardes.	30 oct.	P	20 04 25	d=80
15	Castiglione, précédé de grondements.	1er nov.	vers	5 15	

1926

	40 km.	12 févr.	P	5 03 17	
	15.	20 mai	eP	19 03 38	
	10.	22 juin	P	10 44 25	
1	Berrouaghia, Brazza.	1er juill.	eP	23 12 20	d=70
2	Médéa. (Presse.)	6 juill.	vers	22 30	
3	Médéa, secousse assez forte. (Presse.)	7 juill.	P	14 30 22	
	16 km.	8 juill.	P	5 30 27	
	L 3 00 séisme proche.	18 juill.	P	interheure	
	Bouzaréah, inscrit.	31 juill.	P	18 19 11	
	80 km.	12 août	P	10 25 13	
	F 17 54.	19 août	P	17 52 44	
	(110).	1er oct.	P	23 27 54	
	60.	14 oct.	eP	23 30 10	

1927

1	Blida.	12 janv.	$\overline{P}$	9 26 16	d=45
2	Castiglione.	17 janv.	vers	14 24	
	190 km.	17 janv.	$\overline{P}$	17 14 39	
3	Blida, violente sec., 15 s., population effrayée, cheminées et masures renversées, lézardes aux plafonds, VIII-IX ; gorges de la Chiffa ; Boufarik ; Oued-el-Alleug, V ; Koléa ; Douaouda ; Castiglione ; Médéa ; Arba, IV ; Alger, III ; Bouzaréah, II.	20 janv.	$\overline{P}$	21 33 10	d=40
4	Blida. (Presse.)	21 janv.	$\overline{P}$	11 53 49	
	Bouzaréah, inscrit.	31 mars	P	9 36 08	
	80.	25 juin	P	19 41 02	
5	Rouïba, secousse courte et violente suivie de grondements.	28 août	P	0 31 24	d=25
	10.	7 sept.	P	10 08 41	
	40.	29 déc.	P	5 30 05	

1928

1	Beni-Sliman, 1 s., NW-SE.	29 mars	P	19 18 04	d=80
2_{14}	Médéa, III ; Brazza.	6 avr.	eP	0 13 37	d=80

	25 km.	10 avr.	eP	18	33	23	
	150.	2 mai	eP	13	08	27	
3	Beni-Sliman, légère sec.	3 mai	vers	20	25		
	15.	19 mai	P	3	54	36	
4	Staoueli, une maison lézardée, VIII, deux secousses brusques ; Douéra, bien ressenti ; Sidi-Ferruch, le mouvement séismique a été précédé d'une seconde par une formidable détonation (Mme Larrue-Cassan) ; Alger ; El-Biar ; Bouzaréah, III. (Presse.)	2 juin	iP	8	39	23	d=15
	25 km.	22 juill.	eP	19	30	55	
	25.	24 juill.	eP	9	25	06	
	40.	5 août	P	23	06	47	
	70.	7 août	eP	12	19	23	
	70.	7 août	eP	12	21	25	
	25.	12 nov.	eP	5	47	43	
	25.	12 nov.	eP	5	48	17	
	25.	14 nov.	eP	4	00	43	
5	Région Douéra ; Bouzaréah III.	15 nov.	eP	20	56	03	
	25.	17 nov.	eP	17	24	41	
$6_{3,5}$	Castiglione, vibrations verticales assez violentes, immédiatement précédées d'un grondement intense, claquements de tuiles, objets renversés, VII ; Tipaza, fortes secousses ; El Affroun ; Souma ; Alger, III ; Arba ; Rouïba.	25 nov.	iP	1	07	15	d=50
7	Castiglione, réplique faible accompagnée d'un fort grondement.	25 nov.	vers	1	30		
8	Castiglione, réplique, secousses verticales assez fortes.	28 nov.	eP	17	01	18	
9_5	Tablat, Arba, Alger.	29 déc.	iP	10	37	37	d=50
10	Tablat.	29 déc.	P	11	58	04	d=50
	1929						
1_{14}	Brazza.	8 janv.	iP	7	47	50	d=80
	25 km.	15 févr.	P	12	31	23	
	10.	7 mars	eP	10	50	52	

	15.	14 mars	eP	0	23	44	
	230.	28 mars	eP	20	48	44	
	10.	10 avr.	P	18	11	51	
	10.	13 mai	P	18	12	28	
	60.	6 juill.	P	9	55	36	
	100.	15 juill.	eP	11	30	07	
	100.	16 juill.	eP	4	32	40	
	25.	1er août	P	9	56	02	
2	Arba, fortes secousses, objets renversés, VII ; Maison-Carrée, W-E ; Alger ; Bouzaréah, III. (Presse.)	1er oct.	P	7	42	45	d=30
	50 km.	12 oct.	eP	8	29	45	
	50.	17 nov.	eP	5	21	38	
	60.	6 déc.	P	2	12	45	

1930

	30 km.	1er févr.	eP	12	03	23	
	15.	17 mars	P	14	58	06	
1	Boufarik, forte secousse, 4 s.	25 avr.	P	5	02	21	d=25
	4.	1er juin	eP	8	04	57	
	4.	2 juin	eP	18	18	08	
2	Blida, faible (Presse) ; Rovigo.	5 août	P	8	04	50	d=50
3	Zéralda (Presse) ; Castiglione.	18 août	P	11	59	30	d=25
	4 km.	23 août	eP	18	17	11	
	4.	29 août	eP	11	11	33	
	240.	5 sept.	P	1	19	24	
	150.	3 oct.	P	7	12	38	

1931

1	El Affroun, plusieurs secousses.	27 janv.	vers	4	55		
2	El Affroun, secousse légère.	1er févr.	vers	21			
3	El Affroun, secousse légère.	4 févr.	vers	2	45		
	25 km.	16 févr.	eP	17	59	23	
4	Arba.	23 févr.	P	3	15	50	d=40
5	Camp des Chênes, faible.	4 mars	vers	1	40		
$6_{3,\ 14}$	Camp des Chênes, VIII, violentes secousses, d'abord verticales, suivies à quelques secondes d'une formidable détonation souterraine ; cheminées renversées, plafonds décollés, menus objets dé-						

	placés, des piles de boîtes de conserves sont, par un effet de torsion, disposées en hélice. Séisme fortement ressenti à Mouzaïa-les-Mines, Mouzaiaville, Blida, Oued-el-Alleug, Tisraouïne, Ameur-el-Aïn (fissures aux cuves en ciment), Marengo. A Alger, secousse inscrite au barographe ; Bouzaréah, grondement lointain.	4 mars	P	5	36	40	d=50
7	Médéa, faible.	6 mars	eP	4	41	01	d=70
	40 km.	13 mars	eP	1	37	07	
	10.	4 avr.	eP	18	16	43	
	30.	25 avr.	P	5	51	40	
	80.	27 avr.	eP	3	15	50	
	25.	27 juin	eP	18	15	31	
8_{7}	Tablat ; Maison-Carrée ; Alger, perçu par quelques personnes. (Presse et S. M.)	15 août	iP	13	52	18	d=90
	140.	25 sept.	eP	5	31	24	
9	Rouïba, secousse de 5 à 6 s. avec grondements sourds	10 oct.	iP	12	58	37	d=25
	70 (?).	11 oct.	eP	15	26	39	
10_{3}	Secousse assez forte, ressentie par beaucoup de personnes dans la région d'Alger ; Blida ; Médéa ; Boufarik ; Tipaza. A la Trappe, les objets ont été déplacés, la cloche de l'horloge a sonné, les cloisons ont nettement vibré, VII. Tisraouïne, 14 h. 55, secousses verticales, 2 s. environ ; Souma, grondement souterrain (Presse et S. M.).	2 nov.	iP	14	58	08	d=50
11	El Affroun.	7 nov.	iP	14	10	40	d=64
	Bouzaréah, inscrit.	26 déc.	iP	11	06	08	

1932

1_{14}	Brazza ; Médéa ; Mongorno ; Mellakou (près Ber-						

	rouaghia) ; Berrouaghia, 3 secousses, 6 s., W-E (S. M.) ; Loverdo, une forte secousse, N-S, 6 s. ; Arthur, secousse de plus d'une seconde, aucun accident ; quelques lézardes aux plafonds (Presse), VII.	15 févr.	iP	9	48	44	d=110
2	Berrouaghia, 2 s., W-E ; Brazza.	19 févr.	vers	1	58		
	Bouzaréah, inscrit, probablement coup de mine.	9 avr.	iP	17	36	59	
	Bouzaréah, id.	11 avr.	iP	18	02	38	
	Bouzaréah, id.	20 avr.	iP	17	39	37	
	Bouzaréah, id.	27 avr.	iP	18	03	16	
	65 km.	22 juin	iP	5	17	23	
	65.	27 juin	iP	12	55	31	
	Bouzaréah, inscrit, semble due à une explosion.	16 oct.	P	21	02	53	
3_5	Beni-Sliman.	18 déc.	iP	4	52	36	d=96
4_5	Beni-Sliman.	18 déc.	iP	4	54	23	d=96

Quadrilatère n° 5

1925

1	Tizi-Ouzou, W-E, 3 secousses.	19 mai	vers	14	50		
2	Tizi-Ouzou.	25 juin	vers	1	30		
3_4	Aumale, forte secousse, vive émotion, VI ; Bir-Rabalou.	2 juill.	iP	16	39	17	
	Réplique, non ressentie, région d'Aumale.	2 juill.	eP	18	51	54	d=80
4	Maillot, forte secousse, SW-NE. (Presse et S. M.)	10 juill.	vers	11			
5	Palestro.	6 oct.	P	18	50	41	d=80

1926

	Région d'Aumale, probablement.	31 mars	P	15	32	27	d=100
1	Aumale, forte secousse, 2 s., E-W. (Presse.)	1er avr.	P	5	00	21	d=100
2	Aumale, secousses verticales, 3 s. ; Aïn-Bessem, E-W, fort grondement ; Bouïra.	16 juin	P	12	28	59	d=70

3_6	Maillot.	19 juin	vers	11	30		
4	Bouïra, forte, W-E, 3 s.	16 juill.	iP	9	32	25	d=90
5	Bouïra.	25 août	P	13	13	03	d=90
6	Maillot.	28 nov.	iP	15	33	47	d=110
7	Maillot.	28 nov.	vers	20			
8	Maillot.	28 nov.	iP	22	12	01	d=110

1927

1	Laperrine (région Michelet), grondement suivi d'une légère secousse, 2 s.	12 févr.	vers	22			
2_6	Fort-National, forte secousse, population réveillée (Presse) ; Tizi-Ouzou ; Michelet.	9 avr.	P	2	00	22	d=120
3	Oued-Faham (près Aïn-Bessem), 3 s.	10 avr.	vers	12	50		
4	Aumale, 2 s., W-E.	14 avr.	vers	20	45		

1928

1	Tizi-Ouzou.	19 mars	P	17	59	34	d=80
2	Région de Tigzirt, secousse précédée de grondements arrivant de l'E ; Dellys ; Haussonvillers ; Bordj-Ménaïel ; Tizi - Ouzou ; cap Bengut ; Fort-National.	9 sept.	P	22	30	15	d=100
3	Tigzirt, réplique légère.	9 sept.	vers	23	32		
	Probablement réplique région de Tigzirt, non ressentie.	26 sept.	P	8	56	03	d=90
	Id.	9 oct.	eP	8	45	58	d=90
	Id.	9 oct.	eP	17	51	12	d=90
4_4	Ménerville.	29 déc.	iP	10	37	37	d=50

1929

1	Tizi-Ouzou, 7 à 8 s., NW-SE.	13 mars	vers	9	20		
2_6	Maillot, assez forte ; Aumale.	12 oct.	iP	6	42	09	d=120
3_6	Maillot, assez forte.	12 oct.	iP	22	14	11	d=120

1930

1	Aumale, violente secousse, 6 s., W-E, pas de dégâts ;						

	Bir-Rabalou ; Oued-Faham.	15 avr.	iP	6	46 19	d=100
2	Aumale, 2 s.	26 juill.	vers	5	50	
3	Aumale.	26 juill.	vers	7	00	
$4_{6,7}$	Fort-National, 2 secousses ; Maillot, SW-NE.	3 sept.	eP	16	11 03	d=150
5	Fort-National, 2 s., EW ; Maillot.	8 sept.	P	12	34 58	d=120
6	Tizi-Ouzou, grondements.	14 sept.	vers	20	50	
7_6	Tizi-Ouzou.	30 nov.	vers	21		

1931

1_4	Région Aumale ; Djebel-Dira (un peu au sud d'Aumale), VIII-IX, 28 gourbis détruits, quelques bœufs et moutons ont péri, pas d'accidents de personnes. Fortement ressenti à Aumale ; Aïn-Bessem ; Bouïra ; Palestro ; nettement perçu à l'Alma. (Presse et S. M.)	15 août	iP	13	52 18	d=90
2	Réplique ressentie dans la même région jusqu'à l'Alma.	15 août	$\overline{P}$	15	18 45	d=90
3	Réplique, Aumale.	16 août	$\overline{P}$	9	33 54	d=90
4	Maillot.	7 déc.	vers	11		
5	Maillot, secousse SW-NE, 1 s., bruits souterrains ; Fort-National, 2 secousses légères.	7 déc.	$\overline{P}$	15	48 05	d=140?
6	Aumale, 1 s.	17 déc.	$\overline{P}$	13	20 23	d=90

1932

1_6	Maillot.	9 mai	i$\overline{P}$	20	49 55	d=136
2_6	Maillot.	9 mai	vers	21	50	
3	Aumale, 1 s.	30 nov.	vers	13		
4_4	Aumale.	18 déc.	i$\overline{P}$	4	52 36	d=96
5_4	Aumale.	18 déc.	i$\overline{P}$	4	54 23	d=96

Quadrilatère n° 6

1925

1	Oued-Amizour, V (M. Besnard) ; El-Kseur.	27 janv.	vers	15	30	

2	Seddouk.	3 févr.	vers	1			
3	Oued-Amizour, VI (M. Besnard) ; El Kseur, faible ; Seddouk.	15 mars	eP	15	23	50	
4	Oued-Amizour, réplique faible (M. Besnard).	15 mars	vers	17	55		
5	Oued-Amizour, assez forte secousse, 4 s., grondement comme celui d'un éboulement souterrain. (M. Besnard.)	22 mars	vers	22	20		
6	Bordj-bou-Arréridj.	31 mai	vers	3			
7	Bordj-bou-Arréridj, W-E.	1er juin	vers	19			
$8_{15,16}$	Bordj-bou-Arréridj.	24 juin	iP	1	37	09	d=175
9	Seddouk.	23 août	vers	4	15		
10	Guenzet (environs de Sidi-Aïch), 2 secousses, 3 s., N-S.	8 sept.	vers	22			

1926

1	Oued-Amizour, 2 secousses, ébranlement comparable à la chute d'un corps très lourd dans les caves. (M. Besnard.)	30 avr.	vers	11	25		
2_5	Guelaa.	19 juin	vers	11	30		
3	Mansoura, secousse très forte, 6 s.	13 juill.	vers	2	45		
4	Mansoura, secousse faible.	13 juill.	vers	3	45		
5	Mansoura, secousse forte, 4 s.	13 juill.	vers	6	40		
6	El-Kseur, faible ; Seddouk.	9 août	vers	2	00		
7	Bordj-bou-Arréridj, fortes secousses. (Presse.)	9 oct.	vers	2	00		
8	Bordj-bou-Arréridj, fortes secousses. (Presse.)	9 oct.	vers	2	40		

1927

1_7	Kerrata, 2 à 3 s., vibrations des portes et fenêtres, IV ; Oued-Marsa, claquement des portes.	6 févr.	P	3	45	19	d=170
2	Kerrata, faible, 2 s.	13 févr.	vers	5	10		
3_7	Seddouk.	25 mars	vers	20	10		
4_5	El-Kseur, Aghrib.	9 avr.	P	2	00	22	d=120
5	Oued-Marsa.	7 mai	vers	5	50		
6	Ighil-Áli, plusieurs secousses.	18 déc.	vers	18	15		

1928

1	Kerrata, W-E, 3 s., assez violent ; Oued - Marsa, S-N, 3 s., vibrations des portes et des fenêtres, IV.	8 avr.	eP	22	26 52	d=200
2	Kerrata, 1 à 2 s., SW-NE, faible.	9 avr.	vers	18	05	
3	Oued-Marsa, N-S.	28 juill.	vers	13	15	
4	Oued-Marsa, N-S.	28 juill.	vers	18	00	
5	Bordj-bou-Arréridj, 2 s.	15 août	vers	22	30	
6_7	Kerrata, faible.	19 août	vers	4	00	
7	Port-Gueydon, W-E, 2 s., fort grondement, population alarmée (Presse), VI.	29 août	eP	12	27 46	d=120
8	Kerrata, faible.	29 sept.	vers	22	15	
9	Mansoura, 2 s.	16 oct.	vers	9	35	
10	Oued-Marsa, vibrations des portes, IV.	5 déc.	vers	6	10	
11	Mansoura, faible.	21 déc.	vers	7	10	

1929

1	Oued-Marsa.	1er juin	vers	17		
2_5	Mansoura, forte secousse, 4 s.	12 oct.	iP	6	42 09	d=120
	Réplique non ressentie.	12 oct.	iP	11	23 03	d=120
3_5	Mansoura, forte secousse précédée de grondements.	12 oct.	iP	22	14 11	d=120

1930

1	Cap Sigli, forte secousse, W-E, 3 s., grondement.	1er juin	vers	22	45	
2	Oued-Marsa, vibrations des portes, IV.	10 juin	vers	3	15	
$3_{5,7}$	Azazga, grondement prolongé ; Yakouren.	3 sept.	eP	16	11 03	d=150
4_7	Ouéd - Amizour, forte secousse, E-W, 3 s., menus objets déplacés sur les tables et les étagères, IV ; Bougie (M. Besnard) ; Kerrata, assez violent, SW-NE, 8 s.	30 nov.	eP	3	06 58	d=190
5_5	Azazga.	30 nov.	vers	21		

1931

1	Ighil-Ali (Kabylie E.).	19 janv.	vers	1	35	

2	Ighil-Ali, forte secousse ; Akbou.	26 mars	vers	2			
3	Oued-Marsa, 2 s.	17 avr.	vers	21	15		
4	Mansoura, 4 s.	24 avr.	vers	12	20		
5	Région Bougie ; Oued-Marsa, vibrations des portes, déplacement de menus objets, SW-NE, IV ; Kerrata, 2 s.	10 juill.	eP	14	40	52	d=200

1932

1_{16}	Mansoura, 6 s.	20 janv.	iP	21	28	58	d=170
2	El-Kseur ; Oued-Amizour, secousse avec grondements, 2 s., SE-NW. (S. M. et communication privée.)	27 avr.	vers	2	45		
3_5	Ighil-Ali, forte secousse suivie de petites.	9 mai	iP	20	49	55	d=136
4_5	Ighil-Ali, autre secousse assez forte, pas de dégâts.	9 mai	vers	21	50		

Quadrilatère n° 7

1925

1	Tizi-N'Béchar, très forte secousse précédée de grondements souterrains, 4 s., E-W.	5 févr.	vers	13	50		
2	Tizi-N'Béchar, faible.	4 mars	vers	8	05		
3	Tizi-N'Béchar, faible.	4 mars	vers	8	08		
4	Tizi-N'Béchar, très forte secousse, 3 s.	7 nov.	vers	5	45		
5	Tizi-N'Béchar, légère secousse, 2 s.	3 déc.	vers	0	55		

1926

$1_{8,9}$	Aire d'ébranlement de Djidjelli à Bône ; forte secousse avec grondements à Mila ; Djidjelli, deux chocs rapprochés.	7 mars	P	21	36	28	d=340
2	Aïn Merdja Sliman, W-E.	30 mai	vers	8	15		

1927

1_6	Tizi-N'Béchar, 4 à 5 s.,						

	grondements précédant la secousse, objets déplacés.	6 févr.	P	3	45	19	d=170
2	Tizi-N'Béchar, 1 s., E-W.	2 mars	vers	11			
3_6	Tizi-N'Béchar, 1 s., NE-SW.	25 mars	vers	20	10		
4	Tizi-N'Béchar, 1 s.	6 avr.	vers	21	05		
5_8	Oued-Athménia.	23 avr.	vers	14	10		

1928

1	Tizi-N'Béchar, N-S, 1 s.	9 mai	vers	5	30		
2	Tizi-N'Béchar, 2 secousses consécutives, 2 s., N-S.	31 juill.	vers	7	00		
3_6	Tizi-N'Béchar, N-S, 2 s.	19 août	vers	4	00		
4	Tizi-N'Béchar, 2 s.	22 août	vers	2	00		
5	Tizi-N'Béchar, NE-SW, 1 s.	20 oct.	vers	2	00		
6	Tizi-N'Béchar.	10 nov.	vers	19	30		

1930

$1_{5,6}$	Tizi-N'Béchar.	3 sept.	eP	16	11	03	d=150
2_6	Amoucha ; Périgotville ; Tizi-N'Béchar.	30 nov.	P	3	06	58	d=190

1931

1	Périgotville, faible.	22 juill.	vers	21	20		
2	Sétif, secousse assez violente ; Guellal ; Périgotville ; Tizi-N'Béchar.	9 août	eP	3	44	11	d=220
3	Périgotville, faible.	9 août	vers	10	30		
4	Mila, particulièrement sensible, sans accidents ; Bou-Malek, assez forte secousse, N-S, 2 s. (S. M. et Presse.)	2 déc.	vers	2	30		
5	Mila.	4 déc.	vers	12			

1932

1	Tizi-N'Béchar.	10 juill.	vers	7	30		

Quadrilatère n° 8

1925

1	Constantine; Sidi-Mabrouk, grondements, IV.	22 janv.	vers	11	00		
2	Constantine, 2 s. ; Le Khroub.	22 janv.	vers	13	20		

3	Constantine.	22 janv.	vers	15 00
4	Constantine ; Le Khroub, IV.	22 janv.	vers	23 00
5	Constantine ; Sidi-Mabrouk, grondements, V ; Le Khroub ; El-Arrouch ; Rouffach.	24 janv.	vers	21 30
6	Constantine ; Sidi-Mabrouk, forts grondements, V. Dans l'intervalle de ces 2 secousses principales, Sidi-Mabrouk a compté 7 secousses secondaires.	24 janv.	vers	23 15
7	Constantine ; Sidi-Mabrouk.	25 janv.	vers	6 40
8	Constantine.	25 janv.	vers	10 50
9	Constantine, 2 s. ; Sidi-Mabrouk ; Le Khroub.	25 janv.	vers	18 30
10	Constantine ; Sidi-Mabrouk ; Le Khroub ; dans la journée, El Guerra a noté 17 secousses plus ou moins intenses.	25 janv.	vers	22 45
11	Condé-Smendou ; dans les 24 heures, 5 secousses à El-Guerra. (S. M. et Presse.)	26 janv.	vers	10 45
12	Condé-Smendou.	26 janv.	vers	21 30
13	Sidi-Mabrouk.	1er févr.	vers	13 40
14	Sidi-Mabrouk.	5-6 févr.		nuit
15	Sidi-Mabrouk.	12 févr.	vers	10 50
16	Constantine ; Sidi-Mabrouk, plusieurs secousses dans la soirée.	16 févr.	vers	13 30
17	Sidi-Mabrouk.	19 févr.	vers	23 50
18	Sidi-Mabrouk.	20 févr.	vers	20 30
19	Sidi-Mabrouk.	22 févr.	vers	0 10
20	Constantine, forte secousse ; Le Khroub, grondements 10 s. ; Sidi-Mabrouk ; Condé-Smendou, W-E.	28 févr.	vers	4 40
21	Constantine ; Sidi-Mabrouk.	28 févr.	vers	5 10
22	Constantine, forte secousse, grondements ; Sidi-Mabrouk.	6 mars	vers	11 20
23	Constantine, forte secousse			

	Sidi-Mabrouk, N-S, grondements.	10 mars	vers	4	10		
24	Condé-Smendou ; El-Arrouch.	15 mars	vers	23	00		
25	Collo, 1 s. ; Bessombourg.	19 mars	vers	7	50		
26	Constantine ; Sidi-Mabrouk, fortes secousses, N-S, suivies de quelques autres faibles.	30 mars	vers	2	30		
27	Constantine ; Sidi-Mabrouk, 2 s.	10 avr.	vers	5	45		
28	Sidi-Mabrouk, 2 s.	12 avr.	vers	13	15		
29	Sidi-Mabrouk, faible.	13 avr.	vers	8	35		
30	Constantine ; Sidi-Mabrouk, assez fort.	13 avr.	vers	20	30		
31	Constantine ; Sidi-Mabrouk, assez fort.	13 avr.	vers	21			
32	Constantine, forte secousse, grondements ; Le Khroub ; Sidi-Mabrouk, N-S, 4 s.	14 avr.	vers	20	00		
33	Constantine.	16 avr.	vers	12			
34	Constantine, 4 secousses.	16 avr.	entre	21	et 24		
	Sidi-Mabrouk et Le Khroub	16 avr.	vers	21	15		
	Sidi-Mabrouk, 3 s.	16 avr.	vers	21	40		
35	Sidi-Mabrouk.	24 avr.	vers	1	35		

1926

1	El-Arrouch, IV.	25 janv.	vers	2	50		
$2_{7,9}$	Aire d'ébranlement le long du littoral de Djidjelli à Bône et vers le sud au delà de Constantine. Forte secousse avec grondements à Constantine, Philippeville, El Arrouch. (Presse.)	7 mars	P	21	36	28	d=340
3	Condé-Smendou.	23 nov.	vers	21	10		

1927

1	Constantine ; Sidi-Mabrouk.	5 janv.	vers	16	45		
2	Collo.	21 janv.	vers	21	30		
3_7	Aïn M'Lila.	23 avr.	vers	14	10		
4	Condé-Smendou.	7 août	vers	9			
5	Aïn M'Lila, légère secousse.	24 nov.	vers	4			

1928

1	Condé-Smendou, 4 s., W-E.	17 mars	vers	12	10	
2	El Arrouch, W-E.	10 mai	vers	23	34 32	d=300
3	Constantine, oscillations vives, population réveillée, VI (Presse); Condé-Smendou, fortes secousses suivies de grondements, S-N, 8 s.; El Arrouch, assez forte, E-W, 3 s.; Philippeville, faible.	23 oct.	e	2	48 11	d=(300)
4_9	Jemmapes, 4 s., NE-SW; El Arrouch; Bessombourg.	3 déc.	P	5	30 00	d=420

1929

1	Constantine, 3 s., grondement.	23 mars	vers	12	20	
2	El Arrouch, Condé-Smendou.	1er juill.	vers	12	15	
3	El Arrouch.	28 juill.	vers	21		

1931

1	Constantine; Sidi-Mabrouk, faible.	11 sept.	vers	0	10	
2	Constantine; Sidi-Mabrouk, mieux ressenti.	11 sept.	vers	0	20	
3	Constantine; Sidi-Mabrouk, assez fort.	11 sept.	vers	1	05	

Quadrilatère n° 9

1926

$1_{7,8}$	Aire d'ébranlement le long du littoral de Djidjelli à Bône; Bône, forte secousse dans la haute ville.	7 mars	P	21	36 28	d=340
2	Bône, 2 secousses.	29 avr.	vers	3	50	

1928

1	Edough, Bugeaud.	5 janv.	vers	21		
2	Soukahras, E-W.	23 janv.	vers	19	50	
3_8	Guelma, forte secousse; La					

	Calle[1], 3 oscillations, NW-SE ; Morris, NW-SE, 5 à 6 s. ; Edough, assez fort, NW-SW ; Bugeaud ; Herbillon[2].	3 déc.	P	5 30 00	d=420
	1929				
1	Medjez-Amar ; Guelma, 7 s.; Gounod.	26 mars	vers	9 18	
2	Guelma, légère secousse.	26 juill.	vers	9 00	
	1930				
1	Morris, légère secousse, E-W.	28 avr.	vers	15 30	
	1931				
1	Soukahras, 2 s., E-W., léger grondement.	15 juill.	vers	15 05	

Quadrilatère n° 10

	1925				
1_{11}	El-Ançor.	21 juin	eP	3 01 17	
	1929				
1_{11}	Cap Falcon.	11 janv.	eP	1 52 44	d=410
	1931				
1	Aïn-Khial.	6 oct.	e	9 59 32	
2	Aïn-Khial, une secousse, moins prolongée cependant que la première, s'est fait ressentir dans toute l'étendue du village (Presse), V.	6 oct.	e	12 31 11	

Quadrilatère n° 11

	1925				
1	Arzew ; St.-Louis ; Mangin ;				

1. La Calle est à l'est du quadrilatère n° 9.
2. Herbillon est au nord de ce quadrilatère.

	Oran ; St.-Denis-du-Sig ; Mostaganem, assez faible.	19 juin	P	14	44	26	d=320
2	St.-Leu ; Port-aux-Poules, VI, quelques lézardes ; Oran ; St.-Louis ; St.-Denis-du-Sig ; Mangin, IV ; Mostaganem, III.	20 juin	P	12	33	45	d=310
3	Oran ; Arzew ; St.-Leu, VI ; St.-Louis ; Mangin ; St.-Denis-du-Sig ; Mostaganem, III ; Assi ben Ogba ; Arcole ; Renan ; St.-Cloud ; Port-aux-Poules.	21 juin	eP	3	01	17	d=310
4	Arzew. (Presse et S. M.)	7 juill.	vers	21	35		
5	Arzew. (Presse et S. M.)	28 juill.	vers	21	30		
6	Mascara, VI, 4 s., quelques lézardes au village arabe de Bab-Ali.	23 oct.	vers	13	35		
	1926						
1	Oran.	9 janv.	vers	15	30		
2	Arzew.	5 févr.	vers	18	04		
3	Arzew.	5 févr.	vers	18	08		
4	Oran, 2 s.	30 oct.	vers	15	30		
5	Berthelot[1], forte secousse, 7 s., grondements.	25 déc.	vers	7	30		
	1928						
1	Oran et région, bien sensible (Presse) ; Mangin, assez violent.	10 mai	vers	13	20		
2	Mascara, faible secousse.	22 mai	vers	2			
3	Mascara, faible secousse.	22 mai	vers	8			
4	Mascara, assez violent, 5 à 6 s.	26 mai	vers	15	40		
5	Mascara, 3 à 4 s.	27 mai	vers	16	30		
$6_{3, 12, 14}$	Mascara ; Mostaganem.	24 août	iP	9	44	55	d=240
	1929						
1	St-Denis-du-Sig, violente secousse, panique, VII, à 4 minutes d'intervalle 2e secousse moins forte ; en-						

1. Berthelot est au sud du quadrilatère nº 11.

	suite, deux ou trois faibles ; quelques murs et plafonds endommagés.	9 janv.	traces	21	27	20	
2	St-Denis-du-Sig, violente secousse, population alarmée, des édifices lézardés doivent être évacués, beaucoup d'objets renversés, VIII. A 15 minutes d'intervalle, 2e secousse, suivie de plusieurs autres faibles. Séisme fortement ressenti à l'Oggaz, lézardes ; St-Cloud, 3 secousses ; Rivoli, 2 secousses ; Mangin, 2 secousses ; Oran, quelques lézardes. Nettement perçu à Saïda[1], les Trembles, Arzew, Mostaganem, Perrégaux, Mascara. (Presse.)	11 janv.	eP	1	52	44	d=410

1931

1	Perrégaux.	18 janv.	vers	14	30		

1932

1	Sonis.	22 févr.	vers	17			
2	Mascara, forte sec. suivie de grondements sourds, durée quelques secondes. (S. M. et Presse.)	18 avr.	iP	4	22	39	d=296
3	Oran, 2 secousses à 3 s. d'intervalle, NE-SW.	26 avr.	vers	12	10		
4	Oued-Fergoug, 1 s., Perrégaux, secousse légère.	10 mai	vers	15	10		
5	Oued Fergoug, 1 s.	11 mai	vers	13	10		
6	Oued Fergoug, 1 s.	10 juin	vers	15			

Quadrilatère n° 12

1925

1	Relizane, 3 s.	11 mai	vers	3	45		

1. Saïda est situé au sud du quadrilatère n° 11.

1927

1	Relizane, 3 s., E-W, faible. (Presse.)	11 mars	vers	5	30	

1928

$1_{3,\ 11,\ 14}$	Inkermann, plafonds détachés, murs lézardés, vieilles maisons effondrées, deux enfants tués par la chute d'un mur, deux indigènes morts sous les décombres de leur gourbi ; St.-Aimé, effondrement d'une vaste construction neuve ; Tiaret, VIII.	24 août	iP	9	44	55	d=240
2	Réplique du précédent, signalée à Relizane.	24 août	e	10	28	48	
	Réplique non ressentie.	24 août	e	12	18	40	
	Réplique non ressentie.	24 août	e	22	02	43	

Quadrilatère n° 13

1925

$1_{4,\ 14}$	Taza.	10 juin	$\overline{P}$	16	45	02	

Quadrilatère n° 14

1925

$1_{4,\ 13}$	Région de Boghar, VIII, 2 secousses à 2 s. d'intervalle, E-W, plafonds tombés, murs lézardés, grondements, sources troublées ; Boghari, VI, quelques cheminées démolies.	10 juin	$\overline{P}$	16	45	02	d=95
	Réplique, région de Boghar, non ressentie.	10 juin	$\overline{P}$	18	01	36	
2	Boghar (NE-SW) ; Boghari ; Moudjebeur.	11 juin	$\overline{P}$	20	18	17	
3	Boghari, faible.	12 juin	vers	2			

1928

1	Boghar.	6 avr.	eP	0	13	37	d=80

1929

1	Région de Boghari (?).	2 janv.	P	17	14 00	d=80
2_4	Région Boghari.	8 janv.	iP	7	47 50	d=80

1931

$1_{3,4}$	Boghari.	4 mars	P	5	36 40	d=50

1932

1_4	Boghar, 2 s., W-E.	15 févr.	iP	9	48 44	d=110

Quadrilatère n° 15

1925

$1_{6,16}$	Bou-Saâda, NW-SE, V, précédé de grondements.	24 juin	iP	1	37 09	

1929

1	Bou-Saâda, forte secousse, 4 s., E-W. (Presse.)	28 mars	eP	20	48 44	d=230

Quadrilatère n° 16

1925

1	M'Sila, E-W, 5 s., grondements. (Presse.)	6 mars	vers	15	00	
$2_{6,15}$	M'Sila, 4 s., E-W, V ; Medjez.	24 juin	iP	1	37 09	d=175

1928

1	M'Sila, 3 secousses.	19 oct.	vers	18	20	
2	M'Sila ; Medjez.	16 déc.	iP	18	44 50	d=180
3	M'Sila ; Medjez.	16 déc.	iP	18	51 01	d=180

1932

1	Medjez, forte secousse ; M'Sila.	20 janv.	iP	21	28 58	d=170
2	Medjez, petites secousses.	20 janv.	vers	21	45 et 22	
3	M'Sila.	21 janv.	vers	5	40	

Quadrilatère n° 17

1926

1	Mac-Mahon.	15 sept.	vers	13	30	
2	Mac-Mahon, faible.	29 oct.	vers	23		
3	Mac-Mahon.	3 nov.	vers	16		
4	Mac-Mahon.	3 nov.	vers	22	45	

1927

1	Biskra[1], faible secousse, NE-SW ; M'Chounech (Aurès), 3 secousses.	1er déc.	P	6	24	13	d=360

1929

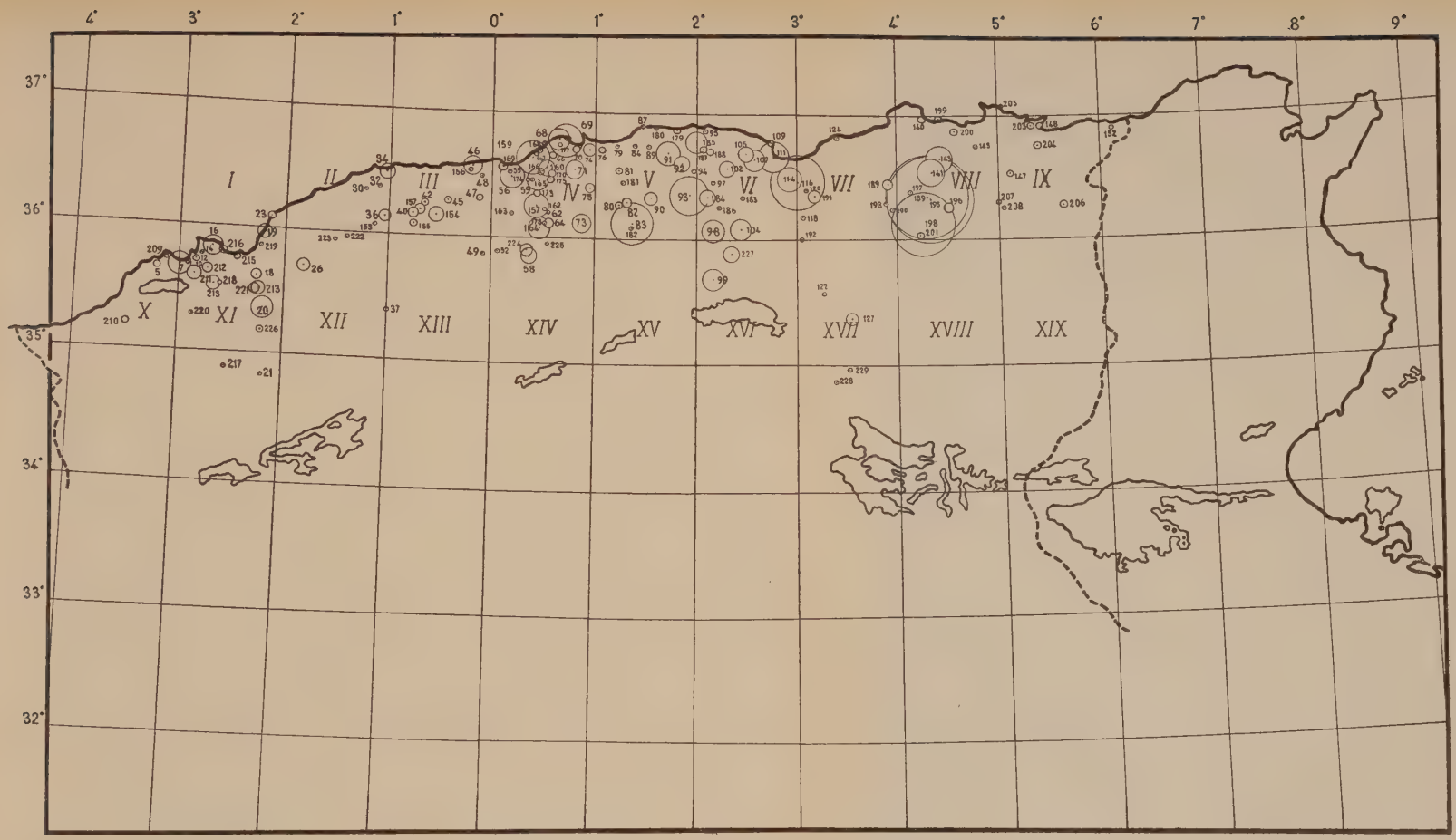
1	N'Gaous, faible.	9 déc.	vers	21	30	

Quadrilatère n° 19

1929

1	Aïn-Beïda, 2 s., N-S.	2 nov.	vers	5	35	

1. Ces villes sont au sud du quadrilatère n° 17.



LOCALITÉS CORRESPONDANT AUX NUMÉROS INDIQUÉS CI-DESSUS

Cap Ivi	23	Douaouda	161	Aïn-Bessem	82	Port Gueydon	95	Aïn M'Lila	201	Saint-Leu	216
Ténès	34	Damiette	162	Bir Rabalou	80	Aghrib	185	Jemmapes	145	Mascara	20
Orléansville	36	Dollfusville	163	Tizi-Ouzou	91	Guelaâ	186	Bône	148	Berthelot	217
Fromentin	30	Brazza	164	Bouira	90	Azazga	187	Bugeaud	203	Oggaz	218
Chasséria u	32	Beni-Sliman	73	Ménerville	79	Bougie	109	Guelma	147	Rivoli	219
Malakoff	153	Gorges de la Chiffa	165	Michelet	94	Yakouren	188	La Calle	152	Saïda	21
Cherchel	46	Oued-el-Alleug	166	Maillot	93	Akbou	97	Morris	204	Les Trembles	220
Oued-Fodda	40	Koléa	167	Alma	76	Tizi-N'Béchar	116	Herbillon	205	Perrégaux	18
Miliana	47	Arba	71	Palestro	81	Mila	189	Soukahras	206	Oued-Fergoug	221
Rouïna	154	Rouiba	74	Cap Bengut	87	Djidjelli	124	Medjez Amar	207	Relizane	26
Lamartine	155	Douéra	66	Haussonvillers	89	Oued Athménia	190	Guelma	147	Inkermann	222
Marceau	48	Sidi Ferruch	168	Fort-National	92	Périgotville	191	Gounod	208	Saint-Aimé	223
Novi	156	Tipaza	169	Tigzirt	179	Sétif	118	El-Ançor	5	Taza	49
Saint-Cyprien-des-Attafs	157	Souma	170	Dellys	180	Guellal	192	Cap Falcon	209	Tiaret	37
Carnot	42	Tablat	75	Bordj-Menaïel	84	Bou-Malek	193	Aïn-Khial	210	Boghar	224
Duperré	45	Maison-Carrée	70	Laperrine	181	Amoucha	120	Arzew	16	Boghari	58
Hanoteau	158	Rovigo	171	Djebel-Dira	182	Constantine	139	Mangin	211	Moudjebeur	225
Bouzaréah	68	Zéralda	172	Oued-Amizour	107	Sidi-Mabrouk	195	Saint-Louis	212	Letourneux	52
Alger	69	Camp des Chênes	173	El-Kseur	105	Le Khroub	196	Oran	7	Bou-Saâda	226
Blida	59	Mouzaïaville	174	Seddouk	102	El-Arrouch	143	Saint-Louis-du-Sig	213	M'Sila	99
Castiglione	159	Tisraouïne	175	Bordj-bou-Arréridj	104	Rouffach	197	Mostaganem	19	Medjez	227
Berrouaghia	64	Ameur-el-Aïn	55	Guenzet	183	El-Guerra	198	Assi ben Ogba	10	Mac-Mahon	127
El Affroun	56	Loverdo	62	Mansoura	98	Condé-Smendou	141	Arcole	214	N'Gaous	122
Médéa	57	El-Biar	177	Kerrata	114	Collo	140	Renan	14	Biskra	228
Boufarik	160	Mongorno	178	Oued-Marsa	111	Bessombourg	199	Saint-Cloud	12	M'Chounech	229
		Aumale	83	Ighil-Ali	184	Philippeville	200	Port-aux-Poules	215	Aïn-Beïda	230

CONSIDÉRATIONS GÉNÉRALES

SUR

LA FRÉQUENCE DES TREMBLEMENTS DE TERRE

EN ALGÉRIE

(1911-1932)

L'examen de l'ensemble de la courbe de fréquence se rapportant à la période comprise entre 1911 et 1932 montre en 1924 un maximum très accentué, dû à la croissance progressive de l'activité séismique pendant trois années, suivie d'un retour, également progressif, à une séismicité normale. A droite et à gauche de cette région d'agitation exceptionnelle, la courbe présente des maximums et des minimums qui se répètent à peu près régulièrement. Une première période se déroule de 1911 à 1916, une deuxième de 1916 à 1920 ; pour les dernières années, un léger maximum en 1928 mis à part, la courbe offre de nouveau des maximums et des minimums d'amplitude réduite.

Cette courbe où figurent tous les séismes, même ceux qui n'ont pas été observés mais qui ont été inscrits par les appareils de la Bouzaréah, ne permet pas de faire pour chacun des quadrilatères une comparaison de la fréquence par rapport à l'activité globale. C'est pour rendre possible cette comparaison que j'ai, en me servant des figures 1 et 1 *bis* et en faisant abstraction des microséismes, tracé un nouveau graphique qui se rapporte à l'époque comprise entre 1911 et 1932.

Cette deuxième courbe n'offre rien de particulier, si ce n'est que le maximum apparu précédemment en 1924 vient ici se fixer en 1925. Ce décalage résulte simplement de ce que

les nombreuses répliques de la secousse grave du 4 novembre 1924, dévoilées par les séismographes de l'Observatoire, ont été négligées.

J'ai pensé que l'établissement des courbes de fréquence pour chaque quadrilatère permettrait de se rendre compte plus nettement de la manière dont les mouvements se pro-

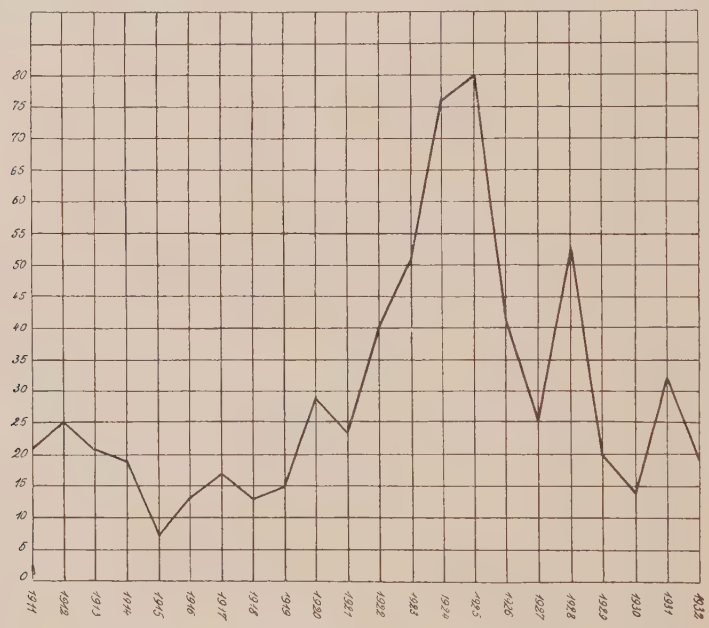


Fig. 4. — Courbe de fréquence annuelle des microséismes pour l'ensemble des quadrilatères envisagés.

duisaient en Algérie. En outre, dans le même but, j'ai superposé les courbes de fréquence de deux quadrilatères de même longitude situés l'un sur le littoral, l'autre dans l'arrière-pays.

La forte agitation de la côte par rapport à la zone plus continentale est ainsi nettement mise en évidence. Ce fait est encore rendu plus suggestif si l'on étudie la fréquence par rapport aux zones géographiques[1]. Ainsi dans le départe-

1. Mme A. Hée, *La séismicité dans l'Afrique du Nord de 1911 à 1931.* Matériaux pour l'étude des calamités, nº 28, 1931-1932, t. IV, p. 291. Genève.

ment d'Oran la séismicité apparaît très réduite dans le versant sud du Tell ; dans le département d'Alger l'instabilité est déjà plus importante sur ce flanc de l'Atlas tellien ; enfin dans le département de Constantine l'Atlas saharien lui-même est parfois agité. Si l'on se rappelle la disposition des deux chaînes de montagnes, on est ainsi conduit à penser que l'instabilité est fonction de l'éloignement de la mer.

Outre la distribution des contrées instables, on pouvait se demander si le maximum, traduit en 1925 dans la courbe fig. 4, était le résultat d'une instabilité générale de l'Algérie. Or les courbes fig. 5 montrent qu'il n'en est pas ainsi. Les ébranlements sont, pour les aires considérées, successifs et non simultanés. C'est ainsi que le maximum apparaît en 1922 dans le n° 2 et le n° 5 ; en 1923 dans le n° 7 ; en 1924 dans le n° 4 ; en 1925 dans le n° 8.

On remarquera d'après les listes que le maximum de séismes dans un quadrilatère donné semble tantôt dû à l'existence d'un tremblement important, tantôt paraît résulter de nombreuses secousses d'assez faible intensité.

Il était intéressant de se rendre compte de l'influence de l'époque considérée sur le classement par fréquence. L'examen du tableau des nombres qui m'ont servi à l'établissement des courbes montre que le quadrilatère n° 4 reste toujours au premier rang, aussi bien de 1911 à 1924 que de 1924 à 1932. Par contre le quadrilatère n° 5, qui était quatrième dans l'étude précédente, vient en deuxième lieu si l'on considère l'ensemble des vingt années. En prenant les différents quadrilatères on constaterait que leur classement varie en général avec l'époque.

Le quadrilatère n° 4 peut retenir l'attention au point de vue de l'essai de prévision des séismes. En effet la méthode japonaise semble pouvoir s'appliquer à son tremblement de terre du 5 novembre 1924. Du fait de l'existence, dans les années antérieures, de maximums qui ne conduisent pas à des séismes intenses, on pourrait formuler des réserves sur la valeur de la méthode ; cependant la croissance des secousses fut nettement évidente dans les années qui précé-

dèrent le mouvement important et de plus, les répliques passées, la région redevint bien calme. Il faut toutefois remarquer que la méthode a été appliquée ici d'une façon particu-

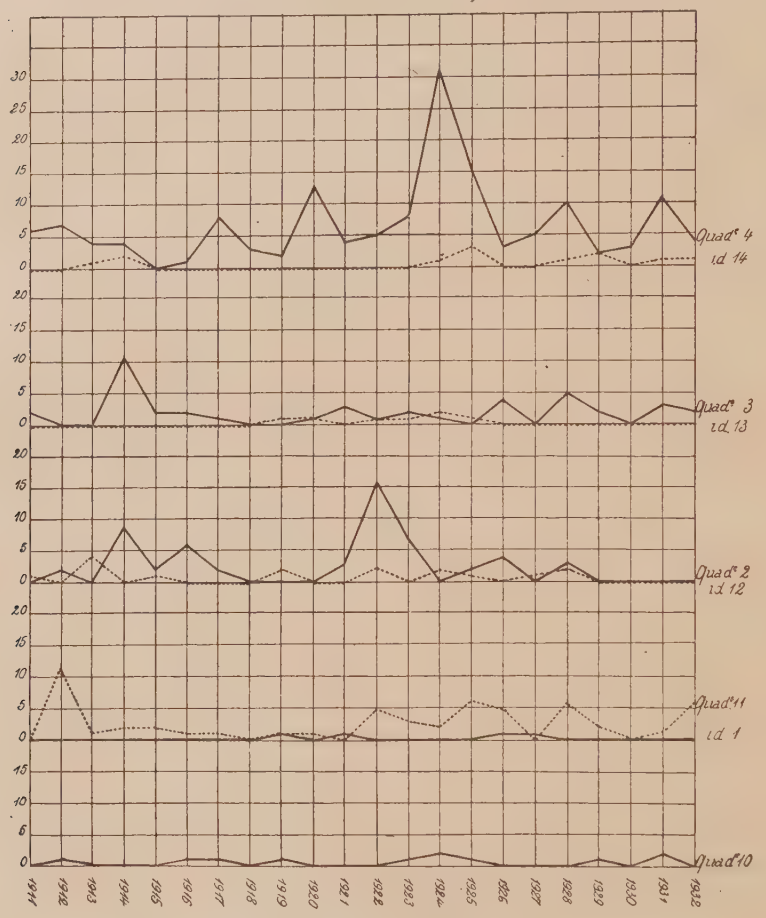


Fig. 5. — Courbe de fréquence annuelle par quadrilatère.

lière ; en effet : 1° l'aire examinée a été considérablement réduite en prenant un cercle de rayon de 25 km. ; 2° les mouvements les plus légers inscrits seulement par les séismographes ont été comptés dans la courbe de fréquence. Ceci paraît indispensable parce que les tremblements algériens

les plus intenses n'atteignent jamais l'ampleur des séismes japonais ; il ne faut donc pas négliger les mouvements faibles pouvant intervenir dans la préparation du phénomène prin-

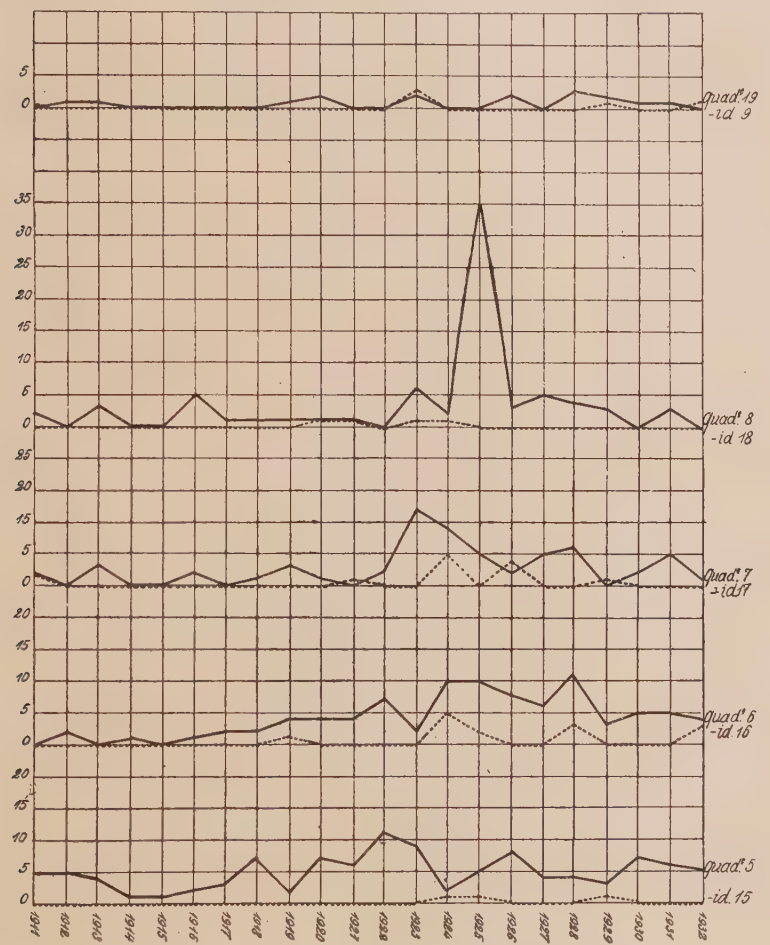


Fig. 5 *bis*. — Courbe de fréquence annuelle par quadrilatère.

cipal. J'ai déjà signalé[1] les différences entre l'Algérie et le Japon en tant que pays séismiques ; il est clair qu'on ne saurait leur appliquer exactement la même méthode.

1. Voir première partie, p. 15.

En considérant dans ce même quadrilatère les foyers des secousses les plus importantes au cours des années, j'ai fait remarquer précédemment que ceux-ci se déplacent suivant une ligne N-S, allant d'Alger à Boghar, en passant par Blida, Médéa et Berrouaghia, et, fait assez curieux, en coïncidence avec la ligne de propagation des différents séismes de cette région. Ainsi apparaissent successivement les épicentres suivants : Berrouaghia VI, 1911 ; Blida, 1914 ; Ben-Chicao VI, 1917 ; Bouzaréah VI, 1916 ; Alger V, 1921 ; Bouzaréah V, 1922 ; Douéra IX, 1924 ; Boghar VIII, 1925 ; Blida VIII-IX, 1927 ; camp des Chênes VIII, 1931 ; Berrouaghia VII, 1932. Beaucoup plus rarement des foyers se manifestent de part et d'autre de cette direction ; je citerai notamment : Castiglione VIII-IX? 1925 et VII, 1928 ; Staoueli VIII, 1928 ; Beni-Sliman VI, 1925 ; Arba VII, 1929. Je rappelle à ce sujet l'idée de Gautier concernant la faille Laghouat-Médéa [1].

J'ai, au cours du travail précédent, signalé l'indépendance de certains centres, parmi lesquels Tizi-N'Béchar et Kerrata, dont les mouvements sont le plus souvent isolés les uns des autres en dépit de leur situation proche dans la même vallée. La même indépendance existe pour Mansoura et Bordj-bou-Arréridj, situés seulement à une trentaine de kilomètres l'un de l'autre sur les mêmes formations géologiques (Sénonien) et appartenant, d'après Montessus de Ballore, au même géosynclinal. Il est vrai que Bordj-bou-Arréridj se trouve sur un plateau élevé formant une région naturelle nettement séparée et très différente de celle qu'occupe Mansoura. C'est ce qui explique sans doute leur indépendance relative au point de vue séismique. Le hasard du groupement en quadrilatères a réuni également Maillot et Aumale, tous les deux très séismiques. J'ai donné antérieurement (p. 10) les raisons géologiques probables de leur instabilité. Le premier a eu 28 secousses, le deuxième 34, et une seule a été commune aux deux localités. D'autre part la secousse du 15 août 1931,

1. Voir première partie, p. 7.

de degré VIII-IX, dans le Djebel Dira, près d'Aumale, a été ressentie au nord jusqu'à l'Alma en passant par Aïn-Bessem, Bouïra, Palestro et n'a pas du tout atteint Maillot, manifestant donc une direction privilégiée vers l'Oued Isser plutôt que vers l'Oued Sahel.

Je relève ces faits qui montrent le morcellement des diverses régions séismiques et font supposer un travail lent des différents compartiments tendant à établir un équilibre qui n'est toutefois jamais réalisé dans un laps de temps aussi court que celui envisagé.

La courbe de fréquence concernant le quadrilatère nº 11, c'est-à-dire les localités aux environs de Saint-Denis-du-Sig, fait apparaître neuf années d'accalmie s'étendant de 1913 à 1921 et ensuite une agitation marquée de la région. Une remarque identique peut être faite au sujet de la courbe concernant le Chott El Hodna (nº 16). Elle dénote de 1911 à 1923 une séismicité nulle de la contrée, et pendant les dernières années révèle une activité nouvelle assez importante. La région de Batna (nº 17), pourvue de failles importantes et de flexures[1], susceptible d'une agitation de grande intensité comme en témoigne le séisme destructeur de 1924, présente également une courbe irrégulière qui, avec les précédentes, montre la nécessité d'une longue et précise étude pour tirer des conclusions valables sur l'activité séismique d'une région.

L'étude détaillée des centres séismiques fait ressortir un fait du même ordre. Des localités très stables pendant de longues années sont tout à coup ébranlées, tandis que d'autres retrouvent une stabilité momentanée. Ainsi, parmi de nombreux exemples, Castiglione et Brazza, dont les noms n'ont pas été relevés entre 1911 et 1924, sont signalés l'un onze fois, l'autre sept fois, de 1924 à 1932. Médéa, sur la ligne d'instabilité indiquée plus haut, n'a été ébranlé que deux fois pendant la première période étudiée, mais huit fois

1. Joleaud Léonce, *Étude géologique de la chaîne numidique et des monts de Constantine*. Montpellier, 1911.

de 1925 à 1932. Ces faits expliquent évidemment la variabilité du classement par fréquence des quadrilatères suivant les années considérées.

Malgré ces constatations, la comparaison des cartes qui accompagnent les deux études précédentes conduit à penser que les conditions de séismicité demeurent à peu près constantes en Algérie. Les régions affectées restent à première vue approximativement les mêmes, et de ce fait les explications d'ordre géologique fournies dans la première partie sont toujours à retenir. Cela ne veut pas dire que la séismicité de l'Algérie soit définitivement connue. Les vingt années étudiées constituent un temps trop court pour que l'on puisse énoncer des conclusions définitives. Quoi qu'il en soit, les relevés critiques et périodiques des tremblements de terre algériens, en dehors de leur intérêt immédiat pour la connaissance de cette région au point de vue séismique, font apparaître les années d'activité exceptionnelle telles que celles mises en évidence autour de 1924. Ces périodes remarquables, étudiées dans le temps et pour les divers pays, permettront peut-être d'approfondir les causes des phénomènes séismiques.

MIGRATION DES ÉPICENTRES

Afin de relier ce travail à celui que l'Institut de physique du Globe de Strasbourg effectue en ce moment sur la *migration des épicentres* des tremblements de terre à large expansion, j'ai relevé les séismes des deux mailles terrestres $\begin{matrix}40 & 10\\ 30 & 0\end{matrix}$ N E et $\begin{matrix}40 & 10\\ 30 & 0\end{matrix}$ N W signalés dans l'*International Seismological Summary* pour les années comprises entre 1913 et 1928 ; j'ai complété la liste jusqu'à 1932 avec les données de l'*Annuaire* de l'Institut et des *Bulletins* de Cartuja (Granada).

Dans les tableaux ci-après figurent, sous le symbole de chaque maille, le nombre des séismes dont les foyers y sont contenus.

$\begin{matrix}40 & 10\\ 30 & 0\end{matrix}$ N E					
20	II	25	+35,0	+10,0	
21	X	22	+34,0 (36,7)	+ 4,0	
22	VIII	25	+36,5	+ 1,5	
	IX	15	+39,0	+ 0,0	
	XI	19	+36,5	+ 1,5	
23	XI	24	+39,2	+ 7,8	
24	III	4	+37,0	+ 0,0	
		16	+35,0	+ 6,0	
	VII	19	+34,0 (36,7)	+ 4,0 (5,3)	
	XI	5,6 (3)[1]	+35,3 (36,7)	+ 3,5	
	XII	11	+39,0	+ 0,0	
25	VI	10	+35,3	+ 3,5	
		21	+37,0	+ 0,0	
		24	+35,3	+ 3,5	
	VII	2	+36,5	+ 1,5 (3,5)	
	VIII	20	+40,0	+ 2,0	

1. Les chiffres entre parenthèses dans cette colonne correspondent au nombre de secousses.

	IX 30	+34,0	+ 4,0	
28	VII 5	+36,5	+ 1,5	
	VIII 24	+34,3 (35,9)	+ 1,3	
	XII 3	+34,5 (36,8)	+ 7,0	
29	I* 11	(35,7)	(0,0)	St - Denis - du-Sig
31	VIII 15	+(36,5)	+(3,6)	Djebel Dira, près Aumale
32	II 15	+(35,8)	+(2,7)	Région Boghar

Cette maille renferme la plupart des tremblements algériens. En effet, sur vingt-six il y en a dix-neuf qui ont donné lieu à des manifestations macroséismiques en Algérie. Parmi eux on peut citer le séisme destructeur de la région de Cavaignac du 25 août 1922[1], et celui du 16 mars 1924 aux environs de Batna[2]. Le tremblement de terre du 5 novembre 1924[3] et quelques-unes de ses répliques figurent également dans la liste. L'épicentre indiqué était à 35°3 N et 3°5 E. L'étude macroséismique, faite également dans l'*Annuaire* de 1924, a fixé le foyer à une vingtaine de kilomètres d'Alger au voisinage de Douéra, soit 36°7 N, et à 3° E ; les latitudes ne se correspondent donc pas parfaitement. Quelques autres foyers offrent également des divergences tant en longitude qu'en latitude, le plus souvent au sujet de cette dernière. D'après les renseignements macroséismiques les nombres reproduits entre parenthèses dans le tableau semblent meilleurs.

La latitude 34° est souvent indiquée, ce qui conduit au pied de l'Atlas saharien et même vers l'est de l'Algérie dans le Sahara. Or les relevés macroséismiques fixent les épicentres au voisinage du parallèle 36° et même au-dessus. On peut assez difficilement admettre que les foyers soient situés

1. Mme A. Hée, *Étude du séisme algérien du 25 août 1922*, d'après les observations microsismiques. C.R.A.S., 1923, t. 176, p. 39. — *Annuaire de l'Institut de physique du Globe de Strasbourg*, année 1922, p. 65.

2. Mme A. Hée, *Annuaire de l'Institut de physique du Globe de Strasbourg*, année 1924, p. 95.

3. *Ibid.*, même page.

au sud et que les localités citées se trouvent sur les isoséistes des divers tremblements. A part quelques anomalies provenant de circonstances géologiques, les isoséistes ont une répartition continue dans l'espace. Si les épicentres étaient vraiment dans la partie méridionale du pays, il y aurait sûrement des observations faites dans la zone assez habitée comprise entre 34° et 36° ; or il n'en est pas ainsi. Les localités affectées et connues se trouvent en général sur une surface assez restreinte située à une latitude nettement plus septentrionale.

Par contre les données relatives à certains tremblements, tels ceux de Cavaignac, de Batna et celui du 25 février 1920 en Tunisie et Algérie, sont en concordance presque parfaite avec les renseignements macroséismiques.

Six épicentres sont marins, celui du 21 juin 1925 a été ressenti fortement sur la côte d'Oran et dans la plaine du Sig. Il est possible que celui du 11 janvier 1929, qui s'est manifesté avec une grande intensité dans la même région, ait une même zone épicentrale. Deux tremblements intéressent l'un la côte NE de l'Espagne, l'autre la côte SW de la Sardaigne. Celui du 11 décembre 1924 s'est produit à la même heure qu'une secousse ressentie à M'Sila dans le bassin du Chott El Hodna ; toutefois, il n'y a là que simple coïncidence. Je ferai en outre remarquer que le séisme du 30 novembre 1925, ayant son foyer au sud des monts Ouled Naïl, a provoqué une inscription à Alger, mais n'a donné lieu à aucun renseignement macroséismique.

	40	10						
55	N	W	15	VII	11	+34,5	—10,0	
	30	0	18	IV	1	+33,3	— 9,0	
				IX	16	+34,5	—10,0	
			19	VI	26	+34,5	—10,0	
				VII	29			
	76			VIII	9	+33,3	— 9,0	
			20	IX	1	+35,5	— 6,4	
			21	X	23	+37,5	— 9,0	
			22	V	9	+34,5	— 1,5	
				VII	27			

	VIII	2	+35,5	— 2,5
	X	20	+37,0	—10,0
23	V	17	+35,0	— 5,0
	VII	9	+35,5	— 5,5
	X	19	+36,0	— 5,0
	XI	24	+37,0	— 7,5
24	III	2	+37,5	— 9,0
	IX	22	+36,0	— 5,0
	X	15	+37,0	—10,0
	XI	18 28	+37,2	— 3,6
	XII	25	+36,0	— 5,0
25	I	2	+36,0	— 5,0
	II	7	+37,2	— 3,6
	IV	17	+37,0	— 6,5
	VII	7	+40,0	— 2,0
26	II	28	+39,0	— 7,5
	VI	12	+37,0	— 2,5
		25 (3)	+37,0	— 4,5
	VIII	15, 16, 18	+36,0	— 5,0
	X	11 (6) 15 (2)	+35,0	— 5,0
		19	+35,5	— 2,5
	XI	3,5	+36,0	— 5,0
		6, 13, 17	+35,5	— 2,5
	XII	1 (2)	+36,5	— 3,5
27	III	14	+37,0	— 4,5
	V	14	+37,0	— 2,5
		18	+39,0	— 7,5
	VIII	17	+36,7	— 2,0
	IX	8	+35,3	— 3,7
		12	+34,5	— 4,0
		30	+35,5	— 2,5
	X	21	+37,0	— 4,5
		24	+36,5	— 1,0
	XI	5	+37,0	— 4,5
		8	+37,5	— 9,0
	XII	3 (2)	+37,5	— 2,3
28	II	11	+32,0	— 1,5
		18	+37,2	— 3,6
	XII	5	+36,5	— 3,5
		25	+37,3	— 4,0
29	I	4	+33,0	— 2,5
	VIII	14	+36,2	— 4,5
30	VII	5	+37,3	— 4,3
	VIII	9 (2)	+37,0	— 3
	XII	24		

Région Melilla

31 VII	10	+36,2	— 2,1	
32 II	5			Ressenti à Huelva, Sevilla, Melilla.
III	5	+37,3	— 2,3	Sierra Luca

Cette maille a été ajoutée parce qu'elle est voisine de la précédente et qu'elle renferme, outre le Maroc et l'Espagne, un fragment de la partie W de l'Algérie. Elle est plus instable que la région étudiée précédemment. Le nombre 76, montant des séismes qui l'ont affectée, indique bien son instabilité.

On peut aisément grouper les foyers ; beaucoup sont marins et intéressent les côtes de l'Espagne, du Portugal et du Maroc. Un grand nombre sont en territoire espagnol, d'autres se trouvent au Maroc. Celui du 9 mai 1922, à la limite du Maroc et de l'Algérie, n'a été signalé par aucun observateur en Algérie. Les nombreux épicentres de coordonnées 35°5 N, 2°5 W, appartiennent à des séismes qui n'ont pas agité le sol algérien, les appareils de Bouzaréah ne les ont même pas inscrits.

Neuf des séismes relevés dans le tableau ont été signalés comme ressentis au Maroc, en particulier à Melilla [1].

Outre l'instabilité plus importante, pendant l'époque considérée, du compartiment occidental, l'étude comparative de ces deux mailles montre que le maximum de séismes à large expansion s'est produit pour la première maille en 1924 et pour la deuxième en 1926. L'apparition successive de ces maximums fait penser à l'existence dans les régions affectées d'un phénomène de bascule pour l'obtention d'un nouvel équilibre.

L'étude de la fréquence des séismes et de leur répartition dans le temps a été faite à l'aide de graphiques spéciaux reproduits à la fin de ce travail. Ils ne comportent que les séismes compris entre 1913 et 1930.

1. Voir *Matériaux pour l'étude des calamités*, loc. cit.

Il est de plus intéressant de signaler que la courbe de fréquence de la maille $\begin{matrix}40\\30\end{matrix}$ N $\begin{matrix}10\\0\end{matrix}$ E, si on l'établissait, aurait la même allure que les courbes de fréquence annuelle tracées lors de la précédente étude macroséismique. Cette constatation met en évidence, tout au moins pour la contrée étudiée, une relation de concordance entre les tremblements de terre à large expansion et les séismes locaux.

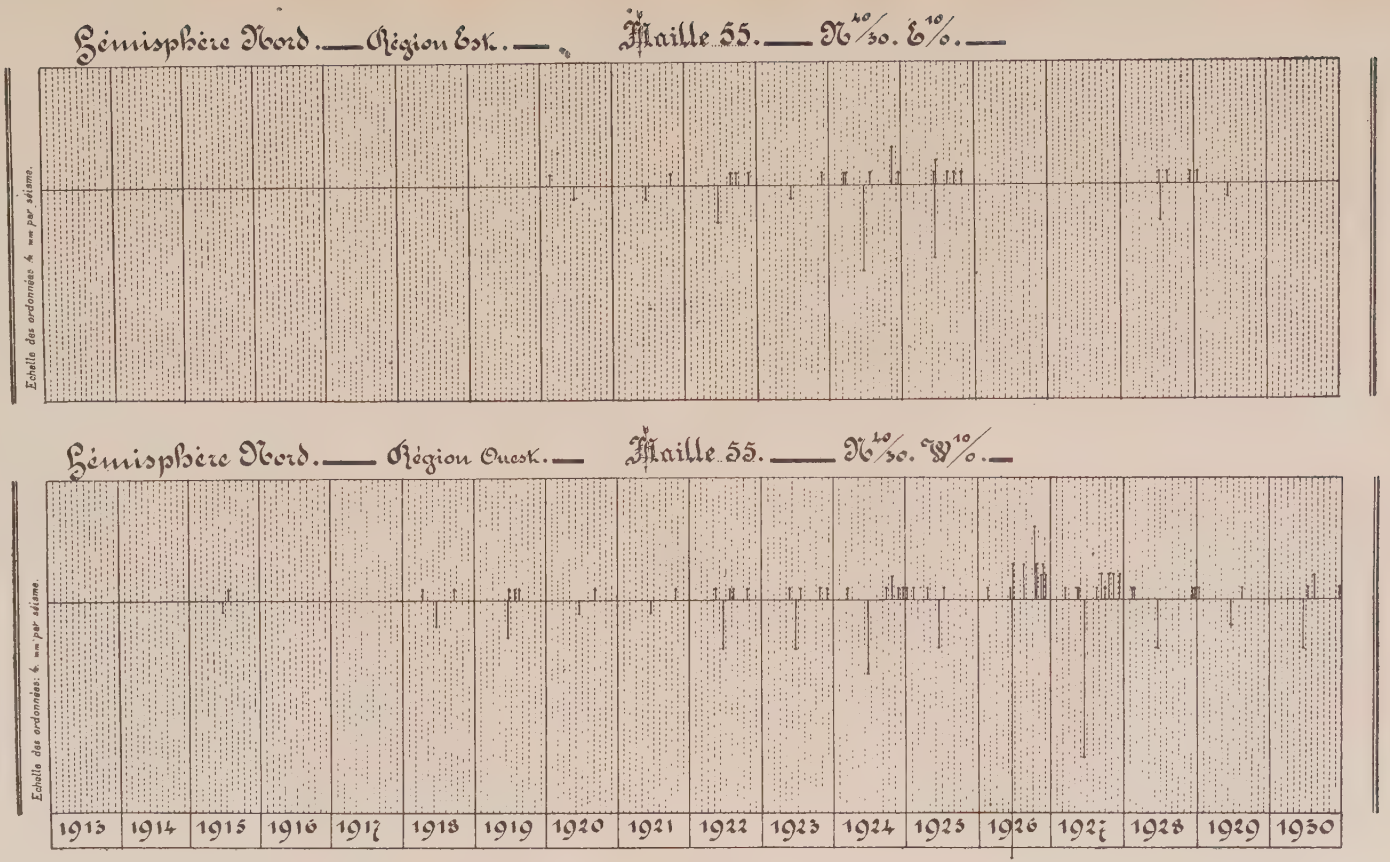


Fig. 6. — Mailles 55 N E et 55 N W.

TABLE DES MATIÈRES

Pages

La fréquence des tremblements de terre en Algérie (1911-1924). 1

Liste des séismes des différents quadrilatères (1911-1924) 17

Carte séismique de l'Algérie (hors-texte).

Tremblements de terre en Algérie (1925-1932). 45

Liste des séismes des différents quadrilatères (1925-1932) 58

Carte séismique de l'Algérie (hors-texte)

Considérations générales sur la fréquence des tremblements de terre en Algérie (1911-1932). 81

Migration des épicentres 89

IMPRIMERIE DAUPELEY-GOUVERNEUR, A NOGENT-LE-ROTROU. — 1933.

Vu et approuvé :

Strasbourg, le 28 mars 1933.

Le Doyen de la Faculté des Sciences,

E. Rothé.

Vu et permis d'imprimer :

Strasbourg, le 29 mars 1933.

Le Recteur de l'Université de Strasbourg,

J. Dresch.